МАССОВАЯ РАДИО-БИБЛИОТЕКА

П. О. ЧЕЧИК

РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА В АСТРОНОМИИ



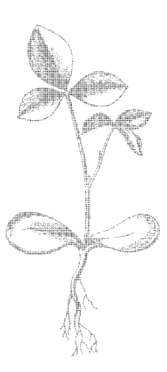
Госэнергоиздат

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА
ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 189

П. О. ЧЕЧИК

РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА В АСТРОНОМИИ







ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1953 ЛЕНИНГРАД

В книге в популярной форме рассмотрены некоторые приложения радиотехники и электроники к астрономии. Приводятся описания аппаратуры и методов исследования, применяемых в Службе времени, при изучении метеоров, Луны, Солнца и нашей звездной системы — Галактики. В книге приведены необходимые для понимания этих методов элементарные сведения по астрономии.

Рассчитана книга на подготовленных радиолюбителей и учащихся, интересующихся радиотехникой и астрономией.

Редактор *С. Э. Хайкин* Техн. редактор *Г. Е. Ларионов*

Сдано в набор 24/VI 1953. Подписано к печати 16/X 1953 г.
Формат бумаги 84×108 1/32 Объем 5,33 п. л. Уч.-изд. л. 6
Т-08207 Тираж 15 000 Цена 2 р. 40 к. Зак. № 230

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая, наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

Астрономия[1] — наука о строении и развитии небесных тел и Вселенной является старейшей наукой, возникшей на заре человеческой культуры в силу практических потребностей человека. Уже в глубокой древности умел человек отыскивать правильную дорогу по «путеводной звезде». Он заметил, что изменение времен года совпадает с появлением или исчезновением на небосклоне определенных светил.

Первыми астрономами в Древнем Египте были жрецы, научившиеся по первому появлению Сириуса перед восходом Солнца предсказывать предстоящий разлив Нила. «Необходимость вычислять периоды разлития Нила создала египетскую астрономию, а вместе с тем господство касты жрецов как руководителей земледелия»[2].

С развитием культуры усложнялись и требования к астрономии. Вслед за египетскими астрономами ассирийцы, вавилоняне и древние китайцы накопили обширные и важные астрономические сведения.

Достижения древних астрономов легли в основу счета времени, летоисчисления, методов определения долготы и широты места.

Потребности астрономии в значительной степени способствовали развитию другой старейшей науки — математики. «Астрономия может развиваться только при помощи математики», — писал Ф. Энгельс в «Диалектике природы»[3].

Математика помогла систематизировать обширный наблюдательный материал, найти законы движения небесных тел и установить правильное представление о системе мира.

Развитие оптики позволило создать специальные астрономические приборы — зрительные трубы, телескопы, намного расширившие возможности наблюдателя. Первый

---

[1] От греческих слов „астрон“ — звезда и „номос“ — закон.
[2] К. Маркс и Ф. Энгельс, Соч., т. XVII, стр. 562.
[3] Ф. Энгельс, Диалектика природы, Госполитиздат, 1946, стр. 147.

телескоп был направлен в небо в 1609 г. знаменитым итальянским ученым Галилеем. Затем (в XIX в.) на помощь астрономам пришла фотография. Фотографическая регистрация астрономических наблюдений оказалась, конечно, более точной и более удобной, чем визуальные наблюдения, освободив астронома от многочасового изнурительного труда. По мере развития оптики в астрономическую практику вводились все новые и новые приборы (спектографы, фотометры и т. п.), которые позволили расширить и углубить астрономические наблюдения и исследования.

В последние десятилетия огромную помощь астрономии оказали радиотехника и электроника.

В противоположность астрономии радиотехника является одной из самых молодых отраслей науки. Зародившись немного более полувека назад в изобретении великого русского ученого А. С. Попова, радиотехника развивалась исключительно бурными темпами. Одной из особенностей радиотехники и смежной с ней области техники — электроники (возникшей из потребностей радиотехники) является широкое их проникновение в различные области науки, техники и производства. Сейчас, вероятно, трудно найти такую отрасль науки, в которой радиотехника и электроника не применялись бы в той или иной степени.

Радиотехническое оборудование и электронные приборы, используемые в астрономической практике, весьма разнообразны и подчас сложны.

В работах «Службы времени», при изучении Солнца, метеоров и звезд, во всех этих разделах астрономии методы радиотехники и электроники оказали весьма большую помощь исследователям. Несколько лет назад возникла новая отрасль астрономии, получившая название радиоастрономии, которая путем наблюдения радиоволн, излучаемых небесными телами, дает совершенно новые и важные сведения о строении небесных тел и происходящих на них процессах.

В настоящей книге рассматриваются некоторые наиболее существенные применения методов радиотехники и электроники в астрономии.

Книга рассчитана на читателей, знакомых с основами радиотехники и электроники, и предназначена в первую очередь для подготовленных радиолюбителей. Надо надеяться, что она сможет быть полезной и для учащихся средней школы и для студентов радиотехникумов, интересующихся астрономией.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

СЛУЖБА ВРЕМЕНИ

Время и его измерение

Великий Ленин в своем гениальном произведении «Материализм и эмпириокритицизм», посвященном философии естествознания, писал так: «В мире нет ничего, кроме движущейся материи, и движущаяся материя не может двигаться иначе, как в пространстве и во времени» [1]. Все явления, все события происходят в пространстве и во времени, и для того чтобы определить, в каком месте и когда произошло то или иное событие, необходимо измерить расстояния между точкой, в которой произошло событие, и какими-либо другими известными точками и измерить промежуток времени между данным событием и каким-либо другим известным событием.

Измерять расстояние между двумя точками люди научились с незапамятных времен, пользуясь для этого мерами длины. Аналогично для измерения промежутков времени необходимо выбрать ту или иную меру времени.

Мерой времени может служить промежуток времени между какими-либо двумя, постоянно и регулярно повторяющимися событиями. Непрерывно повторяющаяся смена положения небесных светил, обусловленная вращением Земли вокруг своей оси, уже в древности была выбрана людьми в качестве меры времени — суток. Вследствие вращения Земли небесные светила через определенные промежутки времени проходят через меридиан данного места, т. е. через наивысшее положение на небе (так называемая верхняя кульминация светила). Промежуток времени между двумя такими прохождениями того или иного светила через меридиан и принимается за единицу времени — сутки. Однако в зависимости от того, выберем ли мы в качестве этого светила Солнце или какую-либо из удаленных «неподвиж-

[1] В. И. Ленин, Соч., т. XIV, изд. 4-е, стр. 162.

ных» звезд, продолжительность суток оказывается различной. Причина этого лежит в том, что Земля вращается не только вокруг своей оси, но и вокруг Солнца; при этом за год Земля делает относительно звезд на один оборот больше, чем относительно Солнца. Иными словами, относительно звезд Земля вращается примерно на 1/365 быстрее, чем относительно Солнца. Поэтому, если за единицу времени мы выберем промежуток между двумя прохождениями через меридиан какой-либо неподвижной звезды, т. е. *звездные сутки*, то они окажутся примерно на 1/365 (что составляет около 4 мин.) короче промежутка времени между двумя прохождениями Солнца через меридиан, т. е. *солнечных суток*. Соответственно, если, начиная с какого-либо момента времени (например, с полночи нового года), отсчитывать время в солнечных или звездных сутках, то за каждые сутки счет времени будет расходиться примерно на 4 мин. и, в частности, звездный полдень будет за каждые сутки сдвигаться относительно солнечного полдня примерно на те же 4 мин.; через полгода звездный полдень будет совпадать с полночью по солнечному времени. Совершенно очевидно, что для обычных целей звездное время было бы крайне неудобно и поэтому в гражданской жизни пользуются солнечным временем.

Однако для астрономических расчетов и наблюдений часто оказывается более удобным звездное время. За единицу времени принимаются звездные сутки. Они делятся на 24 звездных часа, каждый час делится на 60 звездных минут, а минута — на 60 звездных секунд. В каждой обсерватории есть так называемые «звездные часы», которые идут по звездному времени.

В основу солнечного времени положены солнечные сутки, однако *истинные солнечные сутки*, которые представляют собой промежуток времени между двумя последовательными прохождениями центра Солнца через меридиан, вследствие неравномерности движения Земли по орбите и наклона земной оси вращения к плоскости ее орбиты оказываются в различные периоды года не совсем одинаковыми.

Поэтому для измерений времени введена специальная единица — *средние сутки*. Эти средние сутки, получающиеся в результате усреднения истинных солнечных суток, делятся на 24 часа, которые делятся на 60 мин., а эти последние — на 60 сек. Средние солнечные сутки на 3 мин. 56 сек. длиннее звездных суток.

Все применяемые в общежитии часы идут по среднему солнечному времени.

Солнце всходит на востоке и заходит на западе. Истинный солнечный полдень, т. е. момент прохождения солнца через меридиан данного места, на разных географических долготах наступает в разное время — на востоке раньше, на западе позже. Поэтому в один и тот же момент на разных меридианах Земли *истинное местное время* оказывается различным. Соответственно различным будет и *среднее местное время*, т. е. время, отсчитываемое в данном месте по часам, идущим по среднему солнечному времени.

С 1 июля 1919 г. в СССР, а на Западе несколько раньше, было введено так называемое *международное поясное время*. Весь земной шар был разделен на 24 часовых пояса, отстоящих друг от друга на 15° (градусов) по долготе. На экваторе ширина поясов наибольшая, а на полюсах все пояса сходятся. Серединой нулевого пояса является меридиан, проходящий через Гринвичскую обсерваторию (Англия, близ Лондона). Все часы внутри этого пояса поставлены по часам Гринвичской обсерватории. Так как расстояние краевых точек пояса до его середины составляет $7^1/_2$°, то разность между истинным местным временем и установленным поясным на краях пояса достигает 30 мин. В следующем первом поясе, считая с запада на восток, все часы поставлены по местному времени среднего меридиана этого пояса, т. е. на час вперед против *гринвичского*, или, как его называют, *мирового времени*.

В следующем, втором поясе все часы будут впереди мирового времени на 2 часа и т. д.

На фиг. 1 дана карта часовых поясов, проходящих через СССР. Линии, отделяющие один пояс от другого, проходят не точно по географическому меридиану, а по границам государств, областей или по рекам и другим естественным границам. На фиг. 1 пунктиром проведен меридиан, соответствующий границе между вторым и третьим поясами. Этот меридиан проходит как раз через окраину Москвы. Если бы не было сделано исправление границы между поясами и она проходила бы точно по меридиану, то в западной и восточной части Москвы пришлось бы ввести два разных времени, что, очевидно, очень неудобно.

СССР расположен в пределах 11 часовых поясов, от второго до двенадцатого включительно. Им даны следующие названия: Московский (второй пояс), начинающийся у западных границ СССР и кончающийся на линии Ростов-на-

Дону — Архангельск; Волжский (третий), включающий и весь Кавказ; Уральский (четвертый); Западно-Сибирский (пятый); Енисейский (шестой); Иркутский (седьмой); Амурский (восьмой); Приморский (девятый); Охотский (десятый); Камчатский (одиннадцатый) и Чукотский (двенадцатый) [Л. 2].

16 июня 1930 г. декретом Совета Народных Комиссаров СССР во всех поясах на территории СССР стрелки часов были переведены вперед на 1 час. Этот новый счет времени получил название *декретного поясного времени* или сокращенно *декретного времени*. Такое время было введено с целью более полного использования населением солнечного света (в утренние часы), что дает известную экономию электроэнергии и более равномерное расходование ее в течение суток.

Наши часы, следовательно, показывают декретное поясное время.

Между декретным, поясным и средним местным временем, как вытекает из всего сказанного выше, существует следующая связь:

$$T_{декр} = T_{пояс} + 1 \text{ час}; \quad T_{пояс} = T_{местн.\ ср} - \lambda + N \text{ часов},$$

где N — номер пояса, а λ — долгота места наблюдения в часовой мере (так называемый часовой угол).

Если долгота места наблюдения дана в градусах, то перевести долготу в часовую меру можно, воспользовавшись существующим между ними соотношением

$$\lambda_{(часовой\ угол)} = \frac{\lambda_{град} \cdot 24}{360}.$$

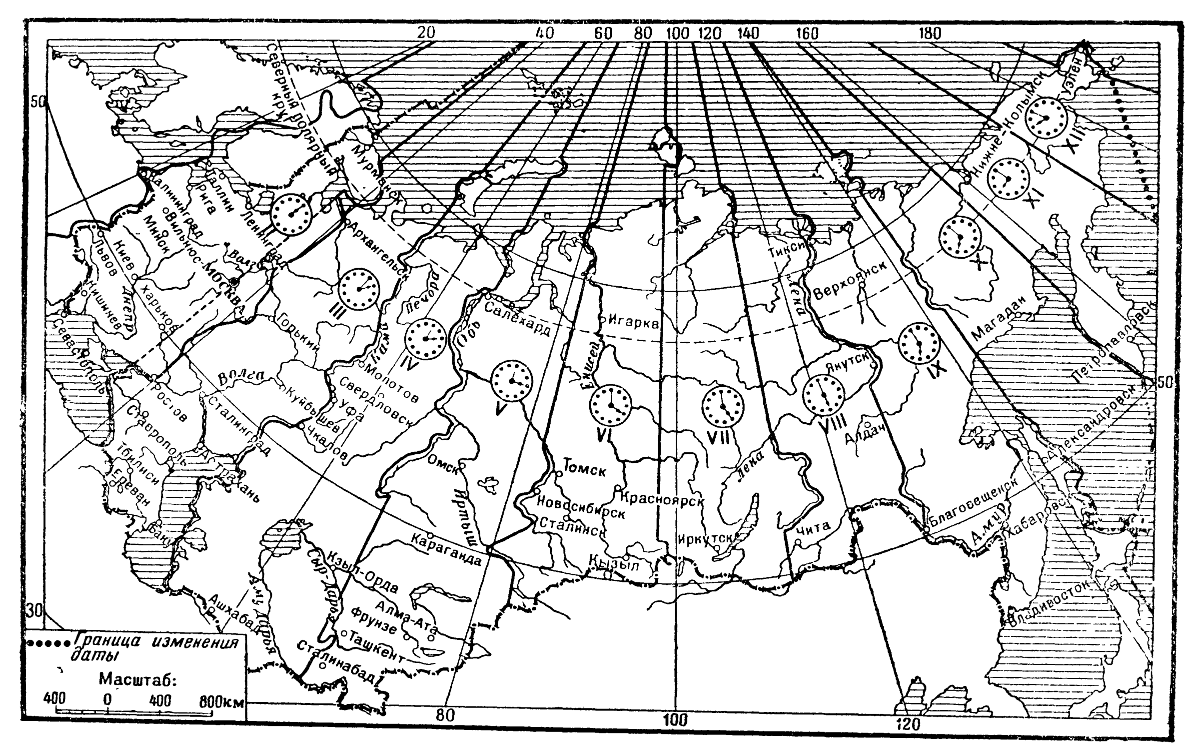
Это соотношение вытекает из того, что полный оборот вокруг своей оси, соответствующий 360°, Земля совершает за 24 часа. Так, например, для Москвы, находящейся на 37° 34′ восточной долготы, часовой угол равен $\frac{37°\,34' \cdot 24}{360} \approx 2$ часа 30 мин.

Так как Москва находится во втором поясе ($N = 2$), то, зная $T_{мест.\ ср}$, можно подсчитать поясное время для Москвы:

$$T_{пояс} = T_{мест.\ ср} - 2{,}5 \text{ часа} + 2 \text{ часа} = T_{мест.\ ср} - 0{,}5 \text{ час.},$$

а декретное время

$$T_{декр} = T_{пояс} + 1 \text{ час} = T_{мест} + 0{,}5 \text{ часа}.$$



Фиг. 1. Карта часовых поясов в СССР.

Зная поясное или декретное время, можно определить мировое или гринвичское время

$$T_{грин} = T_{пояс} - N \text{ часов} = T_{декр} - 1 \text{ час} - N \text{ часов.}$$

Для нашего примера $N = 2$, следовательно,

$$T_{грин} = T_{пояс} - 2 \text{ часа} = T_{декр} - 3 \text{ часа.}$$

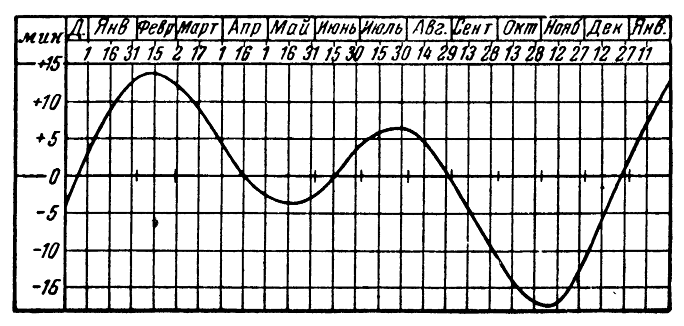
Чтобы узнать среднее местное время, надо к гринвичскому времени прибавить долготу в часовой мере:

$$T_{местн.\,ср} = T_{грин} + \lambda.$$

Для выбранного нами примера

$$T_{местн.\,ср} = T_{грин} + \lambda = T_{грин} + 2{,}5 \text{ часа.}$$

Зная среднее местное время, можно определить и истинное местное время. Разность между средним и истинным местным временем различна для разных дней года — она меньше летом



Фиг. 2. График изменения уравнения времени.

и больше зимой. Она имеет разный знак, т. е. в зависимости от даты может быть положительной и отрицательной. Разность (η) между средним и истинным временем называется *уравнением времени*:

$$\eta = T_{сред} - T_{ист}.$$

График уравнения времени дан на фиг. 2. Чтобы определить истинное время, зная $T_{сред}$, надо от $T_{сред}$ отнять величину η, даваемую уравнением времени, учтя ее знак:

$$T_{ист} = T_{сред} - \eta.$$

Например, для конца октября

$$T_{ист} = T_{сред} - (-16 \text{ мин.}) = T_{сред} + 16 \text{ мин.}$$

Более точно эта поправка на каждый день каждого месяца дается в специальных таблицах. Итак, имея в своем распоряжении часы, идущие по среднему солнечному времени, можно вычислить и истинное время. Конечно, при этом надо быть уверенным, что часы идут верно. К сожалению, наши часы далеко не идеальный прибор. Нередко слышишь жалобу, что «все» часы показывают по-разному. Нужно иметь возможность сверять свои часы с необходимой точностью, а для этого нужно где-то хранить эталон времени. Но эталоном времени, как мы условились, является суточное вращение Земли вокруг своей оси. Как же «хранить» такой эталон?

Об этом в следующем параграфе.

Назначение и задачи Службы времени

Службой времени называется сеть научно-исследовательских лабораторий, созданных при обсерваториях и научно-исследовательских институтах и имеющих своей задачей определение, хранение и распространение точного времени.

Главной задачей Службы времени является *определение времени.* В основе определения времени лежат астрономические наблюдения звездных прохождений через меридиан обсерватории. Как это делается, мы расскажем несколько дальше.

Второй по важности задачей, стоящей перед службами времени, является *хранение времени.* Под хранением времени понимается ряд мер, позволяющих с помощью часов и другой вспомогательной аппаратуры устанавливать точное время в периоды между астрономическими определениями времени. Астрономические наблюдения производятся только в ясные ночи. В условиях нашего климата иногда периоды сплошной облачности, когда астрономические наблюдения невозможны, могут продолжаться месяц и более. Поэтому методы хранения времени должны обеспечить возможность точного определения времени в течение достаточно длительного периода без помощи астрономических наблюдений.

Третьей задачей Службы времени является *распространение времени.* Под распространением точного времени понимается возможность обеспечить в любой момент времени, в любом месте знание точного времени.

Сегодня нам, привыкшим к радиовещанию и радиосвязи, такая задача кажется элементарно простой. Чтобы понять, какую роль сыграла возможность передачи по радио сигналов времени, остановимся на одной практической задаче, перешедшей к нам еще от древних времен. Это так называемая «великая задача долготы».

Особенно большое практическое значение она имеет для мореплавания. За решение задачи определения долготы на море с точностью хотя бы до полуградуса назначались крупные премии. Попытки решения этой задачи вызвали изобретение и усовершенствование хронометра [Л. 12].

В чем же заключается «великая задача долготы», имевшая такое исключительное значение для ориентировки на море и на суше?

Для того чтобы узнать местоположение корабля в море, надо определить широту и долготу этого места. Широта определяется высотой полюса мира над горизонтом. Высоту эту можно узнать по наблюдениям околополярных звезд. Для определения долготы надо знать местное время и время на каком-то определенном меридиане, принятом за начальный (как мы уже указывали, таким начальным меридианом условились считать меридиан, проходящий через Гринвичскую обсерваторию). Тогда, пользуясь выведенными ранее соотношениями можно определить долготу данного места.

Местное время можно определить по звездам, а как узнать время на Гринвичском меридиане? Когда удалось построить точные переносные часы — хронометры, казалось, что задача почти разрешена. *Хронометры* — это переносные часы, в которых маятником служит колесико (баланс), удерживаемое в положении равновесия спиральной пружиной и совершающее крутильные колебания вокруг этого положения равновесия. Они отличаются от других переносных часов, например карманных, бо́льшими размерами, тщательным изготовлением, особым устройством баланса, уменьшающим влияние изменений температуры, и рядом других особенностей конструкции, обеспечивающих большое постоянство их хода. Особое крепление хронометра, так называемый карданов подвес, позволяет часам сохранять горизонтальное положение на судне во время качки.

Хронометры устанавливались по гринвичскому времени и перед отплытием корабля проверялись в какой-либо обсерватории. Во время плавания они должны были хранить время гринвичского меридиана.

Но естественно, что даже самые лучшие часы не могли в течение долгого времени хранить время точно. Всякие часы, даже самые точные, спешат либо отстают. Поэтому, чтобы знать время с достаточной точностью, нужно знать *поправку своих часов*, т. е. ту величину, которую надо прибавить или отнять от показаний часов, чтобы получить верное время.

Чтобы получить представление о том, с какой точностью надо знать поправку корабельного хронометра, предположим, что этот хронометр имеет ход за сутки +1 сек. и что плавание продолжается уже 2 мес., т. е. 60 суток. За это время, следовательно, часы могли уйти вперед на 60 сек. Одна минута часового угла соответствует 15 мин. дуги. Если корабль находится где-то в Средиземном море на широте около 35°, то дуге в 15 мин. соответствует примерно длина в 23 *км*, т. е. ошибка в определении долготы местоположения корабля составит 23 *км*.

«Великая задача долготы» нашла полное решение, когда при помощи радио оказалось возможным практически мгновенно передавать точное время во все уголки земного шара. Первые опыты по передаче сигналов времени по радио у нас были начаты Пулковской обсерваторией в 1914 г.

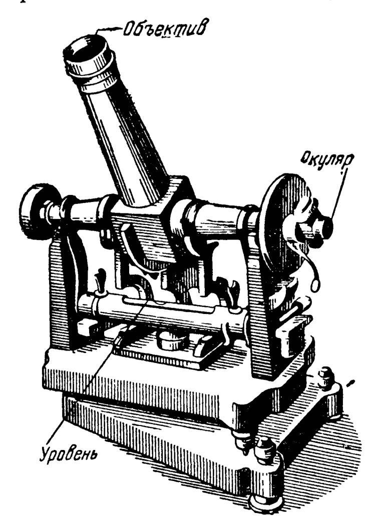
Знание точного времени, кроме рассмотренного уже примера, важно при решении многих научных, технических и производственных задач. Знание точного времени важно для геодезии, гравиметрии, геофизики, геологии и, конечно, самой астрономии.

Составление точных планов и карт при геодезических и гравиметрических съемках, изыскание полезных ископаемых, изучение скорости распространения радиоволн — все эти и многие другие научные проблемы связаны с необходимостью измерять время с высокой степенью точности. Меньшие требования к точности предъявляют промышленность, транспорт и связь. Однако и здесь знание точного времени весьма важно.

Таковы задачи и назначение Службы времени. В решении этих задач, как мы уже видели огромное значение имеет применение радиотехники. Какими же техническими средствами и какими методами решаются эти задачи?

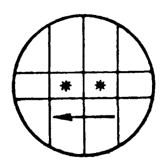
Аппаратура и методы Службы времени

Определение времени. Для определения времени в службах времени употребляется так называемый пассажный инструмент. Показанный на фиг. 3 пассажный инструмент имеет «ломаную» трубу, которая может вращаться вокруг горизонтальной оси. Инструмент обычно устанавливается так, что горизонтальная ось его лежит в направлении восток — запад и оптическая ось трубы вращается в плоскости меридиана. С помощью пассажного инструмента наблюдают прохождение звезды через местный меридиан.



Фиг. 3. Пассажный инструмент.

Чтобы повысить точность определения момента прохождения звезды через меридиан в поле зрения трубы устанавливается сетка из одной или двух горизонтальных нитей и нескольких вертикальных (фиг. 4). Если инструмент правильно установлен, то средняя вертикальная нить находится точно в плоскости меридиана.

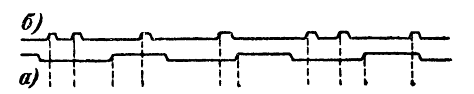


Фиг. 4. Нити в поле зрения трубы.

Для многих звезд заранее точно известны моменты прохождения их через местный меридиан по звездному времени, поэтому каждое зарегистрированное наблюдение такой звезды может служить для определения поправки астрономических звездных часов Службы времени.

Таким образом, точность определения времени в первую очередь зависит от точности регистрации момента прохождения звезды через среднюю нить пассажного инструмента. Современные пассажные инструменты снабжаются контактным микрометром, с помощью которого значительно упрощается работа наблюдателя и увеличивается точность

наблюдений. Следя в окуляр за движением звезды, наблюдатель вращает микрометрический винт и перемещает рамку, на которой укреплена одна (иногда две-три) вертикальная нить так, чтобы удержать звезду на этой подвижной вертикальной нити. На оси ведущего винта микрометра посажен агатовый барабан, на поверхности которого укреплены серебряные вставки — контакты. Вторым контактом служит неподвижно укрепленная пружинная щеточка. Включив контакты микрометра в цепь пишущего прибора (хронографа), можно получить запись перемещения нити или, что то же, прохождения звезды (фиг. 5,*б*). Одновременно с записью прохождения звезды второе перо хронографа записывает секундные замыкания и размыкания контактов поверяемых часов (фиг. 5,*а*). Сопоставление и расшифровка этих записей дает возможность определить поправку часов.



Фиг. 5. Запись контактов микрометра пассажного инструмента (*б*) и контактов часов (*а*) на ленте хронографа.

Наблюдения ведутся каждую ясную ночь. Чтобы повысить точность определения поправки, в течение одного сеанса наблюдают несколько звезд, а иногда эти наблюдения ведутся параллельно двумя наблюдателями на двух пассажных инструментах. Полученные таким образом данные наблюдений усредняются и результат определения поправки получается значительно более точным, чем при однократном наблюдении.

Вследствие участия в описанном процессе наблюдений человека и неизбежно вносимых им субъективных ошибок точность полного определения поправки часов для отдельного наблюдателя не превышает 0,02 сек. Кроме того, в каждой данной обсерватории по условиям погоды наблюдения можно вести далеко не каждую ночь. Чтобы повысить точность определения времени, лаборатории обмениваются между собой материалами наблюдений. Очевидно, что чем больше наблюдений (желательно в разных местах) будет проведено в одно и то же время, тем точнее будет определена поправка. Обработанные сводные результаты определений позволяют получить поправку с точностью порядка $\pm 0,005$ сек.

С целью устранить один из существеннейших элементов, вносящих ошибку в определение, — субъективных ошибок

наблюдателя — в некоторых Службах времени процесс определения автоматизирован с помощью фотоэлемента. Такая установка для фотоэлектрической регистрации звездных прохождений в Пулковской обсерватории осуществлена впервые в 1936 г. проф. Н. Н. Павловым. Об этой интересной установке мы расскажем в гл. 5, а теперь перейдем ко второму по важности элементу работы Службы времени — хранению времени.

Хранение времени. Хранителем времени в Службе времени являются астрономические часы. Огромный путь прошло человечество от первых простейших песочных или водяных часов до современных астрономических маятниковых и кварцевых часов.

К. Маркс в письме от 28 января 1863 г. к Ф. Энгельсу писал, что: «Часы являются первым автоматом, созданным для практических целей; на них развилась вся теория о производстве равномерных движений»[1].

Многие, вероятно, слыхали о знаменитых часах, изготовленных во второй половине XVIII в. гениальным русским механиком-самоучкой И. П. Кулибиным.

Первые астрономические часы в России были построены в XVIII в. механиком Т. И. Волосковым.

Современные астрономические маятниковые часы являются прибором высокой точности, однако абсолютно совершенных механизмов не бывает. Качество часов определяется прежде всего равномерностью их хода. Для обеспечения равномерности хода часов в первую очередь необходимо, чтобы период качания маятника обладал высокой степенью постоянства.

Приближенно период колебаний маятника для случая малых амплитуд можно определить из формулы

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}},$$

где l — длина маятника;
g — ускорение земной силы тяжести.

Поэтому, для того чтобы период колебаний маятника оставался постоянным, надо, чтобы длина маятника оставалась постоянной. На длину маятника, а значит и период его качания, прежде всего влияет изменение температуры. Лучшие современные маятники изготовляют из инвара (сплава стали и никеля), обладающего малым температур-

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс, Соч.. т. XXIII, стр. 131.

ным коэффициентом расширения. Подвесная пружина делается из элинвара — материала, весьма незначительно меняющего свои упругие свойства при изменении температуры. Помимо длины маятника на период его качаний влияет и величина сил трения, действующих на маятник. Для уменьшения силы трения со стороны окружающего воздуха маятник (часы) помещают в герметически закрытый медный цилиндр, из которого выкачан воздух (до 18—20 *мм* рт. ст.). Тем самым исключается также и влияние изменений атмосферного давления на величину силы трения, испытываемой маятником со стороны окружающего воздуха, а значит и на ход часов.

Чтобы обеспечить возможное постоянство окружающей температуры, часы устанавливают в глубокой подземной камере, так называемом «часовом подвале», а чтобы устранить сотрясения, их крепят на массивных, изолированных от стен подвала, каменных столбах. Завод у современных астрономических часов — электрический. Счет секунд они передают из подвала в виде импульсов электрического тока. Все эти меры предпринимаются для того, чтобы как можно реже вмешиваться в жизнь часов, так как даже ничтожное изменение температуры часового подвала от того, что туда зашел человек, может изменить ход часов.

Чтобы освободить маятник от влияния нагрузки, которую для маятника представляет собой механизм превращения колебаний маятника в движение стрелок, лучшие современные астрономические часы строятся по принципу так называемого «свободного маятника».

В таких часах основной — ведущий — маятник отделен от часового механизма, который является вторичными — ведомыми часами, установленными в лаборатории на значительном расстоянии от ведущего маятника. Они соединены между собой с помощью электрических цепей.

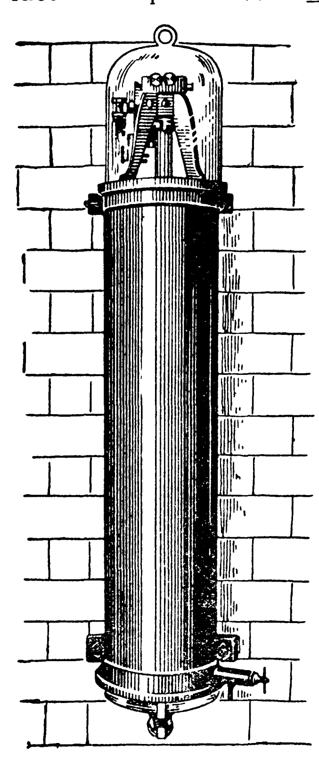
Каждые 30 сек. в момент прохождения свободного маятника через отвесное положение падает маленький грузик, дающий маятнику легкий импульс, поддерживающий качания, компенсируя этим хотя и ничтожные, но все же существующие потери на трение.

Спуск груза осуществляется электрическим импульсом от ведомых часов, которые сами удерживаются в строгом синхронизме с ведущим маятником с помощью специального механизма.

В 1936 г. известный советский механик И. И Кваренберг на основе идеи свободного маятника создал перво-

классные астрономические маятниковые часы, пользующиеся заслуженным признанием астрономов. Внешний вид ведущих часов Кваренберга показан на фиг. 6.

Изменение суточного хода лучших экземпляров таких часов не превосходит $\pm 0{,}003$ сек.



Фиг. 6. Внешний вид ведущих астрономических часов И. И. Кваренберга.

Крупнейшим недостатком маятниковых часов является их чувствительность к толчкам и сотрясениям почвы.

Кварцевые часы. В результате разработки кварцевых часов радиотехника создала прибор, значение которого для астрономии трудно переоценить. Кварцевые часы имеют ряд существенных преимуществ перед маятниковыми; они мало чувствительны к тряске, толчкам и вибрациям, они не подвержены, как маятниковые часы, действию изменения силы тяжести и магнитных полей, их легко можно защитить от влияния электрических полей. Достоинством кварцевых часов является возможность с их помощью измерять весьма малые промежутки времени. Кроме того, кварцевые часы одновременно могут быть использованы в качестве эталона частоты первого класса.

Первыми конструкторами советских кварцевых часов были П. С. Попов, Л. Д. Брызжев, лауреаты Сталинской премии Б. К. Шембель и П. Н. Агалецкий.

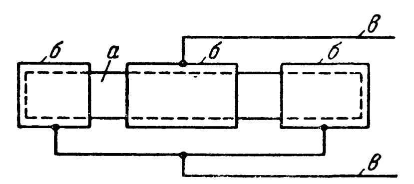
Кварцевыми часами называется генератор высокой частоты, стабилизованный кварцем, откуда они и получили свое название.

Как известно, пластинка, вырезанная соответствующим образом из кристалла, обладающего пьезоэлектрическими свойствами и помещенная в переменное электрическое поле, сжимается и растягивается с частотой поля, т. е. совершает вынужденные упругие колебания. Одновременно с этим на

поверхностях пластинки возникают переменные электрические заряды.

Амплитуда колебаний пластинки зависит от напряженности электрического поля и от того, насколько частота поля близка к собственной частоте того типа упругих колебаний, которые возбуждаются в пластинке. При совпадении обеих частот вследствие явления резонанса колебания пластинки становятся очень интенсивными и вместе с тем на поверхности пластинки возникают сильные переменные электрические заряды.

Таким образом, пьезоэлектрическая пластинка, помещенная между электродами, к которым подводится электрическое напряжение, ведет себя как электрический колебательный контур. Особенностью таких пьезоэлектрических резонаторов является очень высокая их добротность, в сотни раз превышающая добротность электрических колебательных контуров. Поэтому пьезоэлектрические резонаторы, применяемые вместо обычных колебательных контуров в ламповых генераторах, обеспечивают высокое постоянство частоты колебаний, создаваемых генератором. Частота этих колебаний очень близка к собственной частоте колебаний пьезоэлектрического резонатора, и если эта последняя остается постоянной, то вместе с тем остается постоянной и частота создаваемых генератором колебаний.



Фиг. 7. Крепление электродов на кварцевом бруске.

а — кварцевый брусок; *б* — электроды; *в* — выводы.

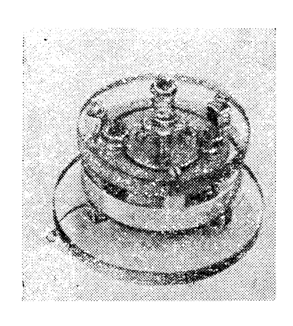
В качестве пьезоэлектрического резонатора в кварцевых часах применяются вырезанные из кристалла кварца пластинки, бруски или кольца.

Кварцевая пластинка, брусок или кольцо помещаются в специальный держатель между металлическими электродами, к которым подводится переменное напряжение. В зависимости от способа наложения и соединения электродов в кварце возбуждается тот или иной тип колебаний. Для примера на фиг. 7 изображены система электродов кварцевого бруска и схема их соединений для возбуждения колебаний по длине.

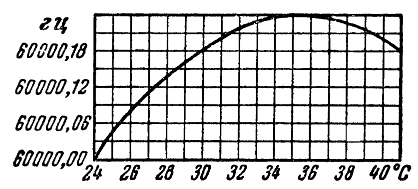
На фиг. 8 приведен внешний вид кварцевого кольца в кварцедержателе. Конструкция держателя и способ крепления кварца имеют существенное значение для качества

работы генератора — его стабильности. Держатель должен быть сконструирован так, чтобы в местах крепления кварца не возникали заметные силы трения, так как иначе эти силы будут влиять на колебания кварца, внося добавочное затухание и изменяя период его колебаний. Из этих соображений крепление кварца обычно производится в узлах его механических колебаний. Зазоры между поверхностями пластинок и электродами не должны изменяться от изменения температуры и сотрясений.

Часто кварцевую пластинку помещают в стеклянную колбу, из которой откачан воздух, в так называемый баростат. Такая изоляция кварцевой пластинки от окружающей среды позволяет защитить ее от влияния изменений атмосферного давления. Кроме того, эта мера уменьшает затухание кварца, так как снижаются потери на излучение, обусловленные тем, что кварц вызывает колебания окружающего воздуха.



Фиг. 8. Крепление кварцевого кольца в кварцедержателе.

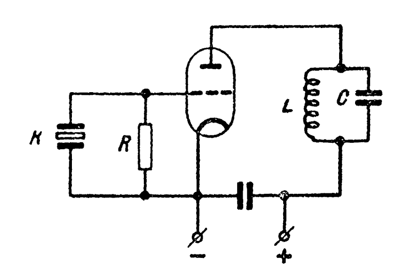


Фиг. 9. Зависимость частоты собственных колебаний кварцевого бруска от его температуры.

Так как период собственных колебаний пьезокварцевого резонатора зависит от его температуры, то особые меры принимаются для обеспечения постоянства температуры пьезокварцевого резонатора. Кварцевая пластинка помещается обычно внутри двойного термостата, температура в котором автоматически, с помощью контактного термометра, поддерживается постоянной с очень высокой точностью (до 0,01° С). Генератор, а иногда и усилитель помещаются во внешнем термостате, в котором температура поддерживается с точностью до 0,1° С.

Примерная зависимость частоты от температуры для одного из типов кварцевого бруска показана на фиг. 9. Она имеет плоский максимум около 36° С. Поэтому термостат регулируют таким образом, чтобы во внутреннем объеме температура поддерживалась около 35—36° С.

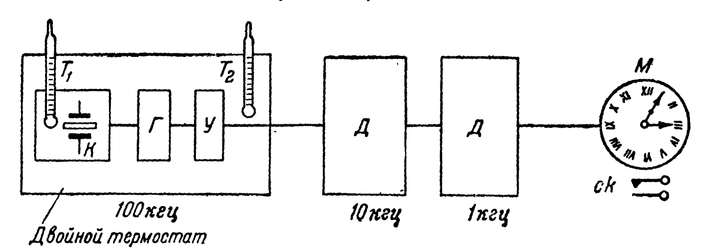
Простая схема генератора с кварцем показана на фиг. 10. В этой схеме кварц *К* включен между сеткой и катодом. Колебательный контур в анодной цепи лампы *LC* настроен на частоту, несколько большую, чем собственная частота кварца. Схема возбуждается благодаря обратной связи через емкость анод — сетка на частоте, близкой к собственной частоте кварцевой пластинки. Обычно генератор кварцевых часов имеет кварц для частоты 60 000 или 100 000 *гц*.



Фиг. 10. Схема кварцевого генератора.

Скелетная схема кварцевых часов приведена на фиг. 11.

На схеме *К* — кварц, помещенный во внутреннем объеме термостата; *Г* — генератор и *У* — усилитель, находящиеся во внешнем объеме термостата; *Д* — делители частоты, состоящие из двух или более ступеней деления. На выходе последней ступени напряжение имеет частоту 1 000, или 500, или 250 *гц;* это напряжение подводится к синхронному электродвигателю *М*, который приводит в движение механизм стрелок.



Фиг. 11. Скелетная схема кварцевых часов.

Выходная ось электродвигателя *М* делает один оборот в секунду. На этой оси укреплен кулачок, замыкающий контакт *ск*, дающий секундные импульсы. T_1 и T_2 — контактные термометры, управляющие подогревателями внутреннего и внешнего объемов термостата. Особые меры принимаются для стабилизации напряжений всех источников питания кварцевых часов.

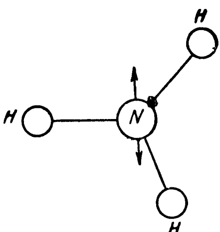
Колебание суточного хода таких часов не превосходит $\pm 0{,}001$ сек.

Внешний вид одного типа кварцевых часов, разработанных в 1946 г. в Центральном научно-исследовательском институте геодезии и картографии, показан на фиг. 12.

«Атомные» часы. Освоение сантиметровых и миллиметровых радиоволн открывает новые перспективы повышения точности измерения времени.

Недавно был предложен новый способ создания эталона времени так называемых «атомных» часов, использующего сравнительно медленные (лежащие в радиодиапазоне) собственные колебания атомов в молекуле газа. Частота этих колебаний почти совершенно не зависит от температуры и давления. Наиболее удобным оказался газ аммиак. Молекула аммиака (NH_3) состоит из трех атомов водорода и

Фиг. 12. Внешний вид кварцевых часов ЦНИИГА и К.



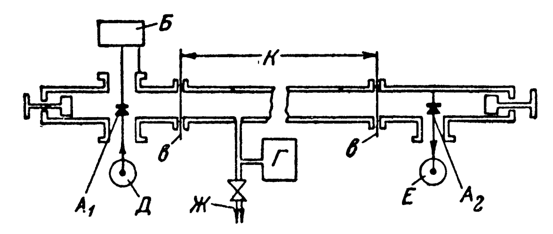
Фиг. 13. Структура молекулы аммиака. H — атом водорода; N — атом азота.

одного атома азота и построена примерно так, как показано на фиг. 13.

Под действием электрического поля происходит смещение атомов в молекуле, и если частота поля совпадает с собственной частотой колебаний атомов в молекуле, то вследствие резонанса колебания эти становятся весьма интенсивными. На поддержание этих колебаний расходуется энергия электрического поля и, следовательно, при частоте собственных колебаний атомов должно резко увеличиться поглощение электромагнитных волн газом. Для

аммиака эта частота составляет 23 870,13 *мггц*, что соответствует длине волны около 1,25 *см*.

Если в волноводе (фиг. 14), наполненном аммиаком (при малом давлении), возбуждать электромагнитные волны, длина которых постепенно меняется (т. е. возбудить частотно-модулированные волны), то при длине волны около



Фиг. 14. Поглощающее устройство „атомных" часов.
К — прямоугольный волновод сечением примерно 8 × 12 *мм*, длиной около 9 *м*, закрытый с обеих сторон непроницаемыми для газа переборками *в* и заполненный аммиаком при низком давлении; $А_1$ — кристаллический диод, создающий гармоники подводимого к нему высокочастотного напряжения $А_2$ — выходной кристаллический диод; *Б* — индикатор тока кристаллического диода; *Г* — вакуумметр; *Ж* — трубопровод к вакуумному насосу и газгольдеру аммиака; *Д* — генератор модулированного по частоте высокочастотного напряжения; *Е* — выход к импульсному усилителю.

1,25 *см*, соответствующей собственной частоте молекулы аммиака, будет резко возрастать поглощение энергии в волноводе. Вследствие этого в моменты совпадения частоты возбуждения с собственной частотой колебаний в молекуле аммиака на выходе волновода (после детектора) появится резкий импульс (фиг. 15).

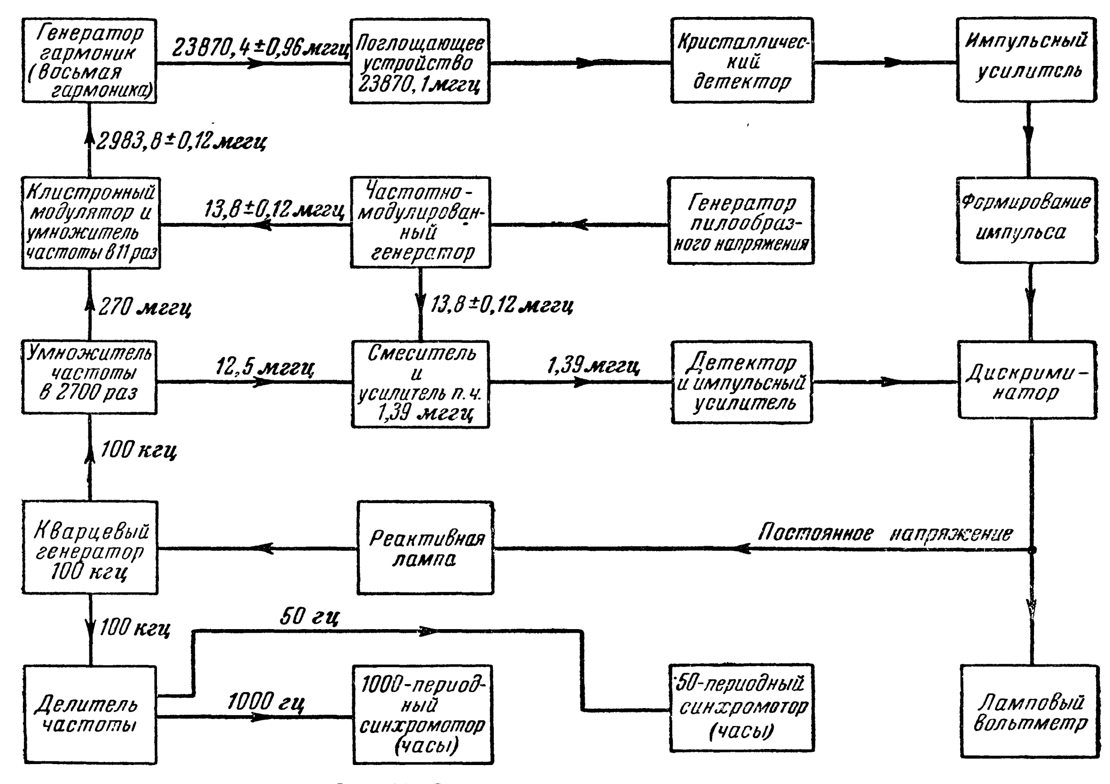
Этот импульс можно использовать для точного сравнения частоты генератора высокой частоты с частотой собственных колебаний атомов в молекуле аммиака, т. е. для создания «атомного» эталона частоты или «атомных» часов.



Фиг. 15. Форма импульса напряжения на выходе поглощающего устройства.

Скелетная схема одного варианта «атомных» часов приведена на фиг. 16. Работает эта схема следующим образом.

Основная частота в 100 *кгц* задается кварцевым генератором. Обычными методами, принятыми в схемах кварцевых часов, эта частота, с одной стороны, понижается несколькими делителями до 1 000 *гц* и 50 *гц*. Напряжения частотой в 1 000 *гц* и 50 *гц* подводятся к синхронным электродвига-



Фиг. 16. Скелетная схема „атомных“ часов

телям (синхромоторам) и приводят в действие стрелки двух часовых механизмов.

С другой стороны частота кварцевого генератора умножается несколькими ступенями в 2 700 раз, т. е. до 270 *мггц*, смешивается с частотой 13,8 *мггц*, модулированной по частоте генератором пилообразных колебаний на $\pm$0,12 *мггц*. Это смешение и дальнейшее умножение в 11 раз производится с помощью клистрона, на выходе которого создается модулированное по частоте напряжение с частотой 2 983,8$\pm$$\pm$0,12 *мггц*. Далее это напряжение подводится к кристаллическому диоду, создающему гармоники подводимого напряжения. Восьмая гармоника подводимого напряжения имеет частоту 23 870,4 $\pm$0,96 *мггц* и подается в поглощающее устройство. Каждый раз, когда частота этой гармоники проходит через значение собственной частоты колебаний атомов в молекуле аммиака, происходит резкое увеличение поглощения в волноводе. Вследствие этого после детектора, расположенного на конце поглощающего устройства, появляется резкий импульс.

С помощью ответвленного от первого умножителя напряжения частотой в 12,5 *мггц*, а также частотно-модулированного напряжения с частотой в 13,8 $\pm$ 0,12 *мггц* создается после смесителя и другого детектора второй вспомогательный импульс.

Сдвиг (разница) по времени между импульсом, созданным поглощающим устройством, и вспомогательным импульсом от кварцевого генератора служит мерой отклонения частоты кварцевого генератора от номинала. Оба импульса подводятся к дискриминатору, на выходе которого образуется напряжение постоянного тока, величина которого пропорциональна сдвигу во времени между обоими импульсами. Это постоянное напряжение подводится к реактивной лампе, автоматически управляющей частотой кварцевого генератора.

Ламповый вольтметр на выходе дискриминатора позволяет наблюдать и регистрировать отклонение частоты кварцевого генератора, т. е. контролировать работу «атомных» часов.

Практически достигнутая точность хода соответствует ошибке в 1 сек. за 230 дней. Ожидается, что дальнейшие усовершенствования позволят уменьшить эту ошибку в десятки раз.

Такое устройство, повидимому, будет обладать большей равномерностью хода, чем равномерность вращения Земли

вокруг своей оси. Поэтому «атомные» часы позволят не только более точно отсчитывать время, но также более точно исследовать непостоянство скорости вращения Земли вокруг своей оси, обнаруженное уже астрономами.

Однако пока «атомные» часы еще не вошли в практику Службы времени, в качестве хранителя времени применяются высокоточные маятниковые и кварцевые часы. Обычно в каждой Службе времени хранитель времени состоит из нескольких комплектов часов, за которыми ведется непрерывное наблюдение (изучается и регистрируется их ход). Чем больший парк часов участвует в общей системе хранения времени, тем большей точностью обладает этот коллективный эталон.

Распространение времени. Эта последняя функция Службы времени целиком связана с использованием радиотехники. Как мы уже говорили, первый опыт передачи сигналов времени по радио в России был произведен Пулковской обсерваторией в 1914 г. С 1931 г. систематическую передачу сигналов начала также Служба времени Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга в Москве.

Существуют два основных вида сигналов времени, передаваемых по радио. Это так называемые «вещательные» и «ритмические» сигналы [1].

Вещательные сигналы (тире, тире, точка) хорошо известны всем радиослушателям, они предназначены для поверки часов населением и для учреждений, которые удовлетворяются сравнительно небольшой точностью. Следует при этом отметить, что точность посылки последней точки очень высока (0,02 сек.), так как эта точка дается Главными часами Службы времени, однако естественно, что по одному единственному сигналу (последняя точка) проверить свои часы с такой высокой точностью трудно.

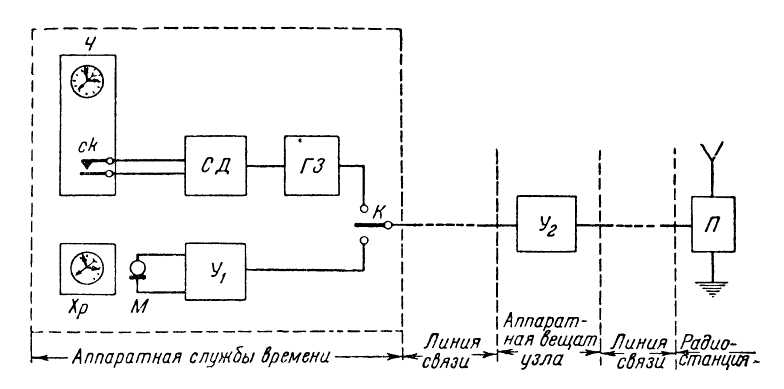
Скелетная схема устройства для передачи вещательных сигналов в том виде, как она применялась в Службе времени Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга, показана на фиг. 17.

Специальный секундный датчик *СД*, разработанный сотрудником Службы времени А. А. Водаром, приводимый в движение секундными импульсами часов, воспроизводит в конце каждой минуты сигналы: «тире, тире, точка». Оба

---

[1] Одновременно с ритмическими сигналами передаются еще так называемые „обыкновенные“ сигналы времени.

тире даются самим датчиком, после чего автоматически включаются часы и основной сигнал — точка — подается уже секундным контактом *ск* главных часов, чем и обеспечивается высокая точность этих сигналов. Секундный датчик управляет работой генератора низкой частоты (800 *гц*). Низкочастотные сигналы поступают в центральную аппаратную вещания, а оттуда — на передатчики. За одну, две минуты до начала передачи сигналов времени в аппаратной Службы времени включается микрофон с усилителем, ко-



Фиг. 17. Скелетная схема передачи вещательных сигналов времени (тире, тире, точка).

Ч — подающие часы; *ск* — секундный контакт подающих часов; *СД* — секундный датчик А. А. Водара; *Хр* — хронометр; *М* — микрофон; $У_1$ — микрофонный усилитель; *ГЗ* — звуковой генератор; *К* — переключатель; $У_2$ — линейный усилитель; *П* — передатчик на радиостанции.

торые воспроизводят удары («тикание») хронометра. Эта передача служит предупреждением для подготовки к проверке часов. С помощью переключателя *К* за 15 сек. до начала передачи вещательных сигналов линия переключается к секундному датчику. Сеансы поверки передаются в 1, 7, 12 и 19 час. московского времени.

Мы уже говорили, что во многих случаях, как, например, в навигации, картографии или геолого-разведке, а равно для взаимной проверки хранителей времени в самих службах времени нужна более высокая точность, чем та, которую может обеспечить единственная точная точка вещательных сигналов. Для этой цели используются ритмические сигналы времени, регулярные передачи которых у нас начаты Пулковской обсерваторией в 1920 г.

Сущность этой системы сводится к использованию принципа биений. Маятник особых часов, передающих ритмиче-

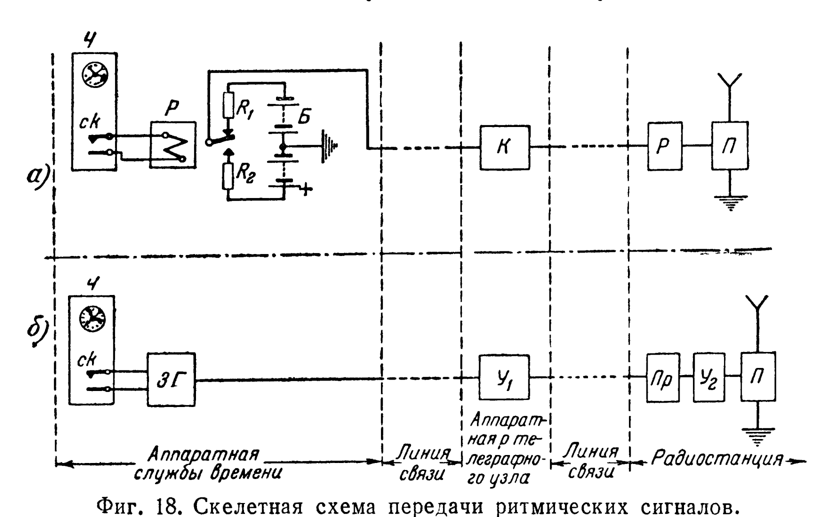
ские сигналы времени, укорочен, поэтому ход часов ускорен по сравнению с обычными часами. Число ударов (или замыкания контактов), которые делают «часы-нониус», равно 61 в минуту (вместо 60 у обычных часов). Если слушать одновременно обычные часы и сигналы, принятые по радио от часов-нониуса, то можно заметить периодические (ритмические) совпадения и расхождения их ударов. Моменты этих совпадений легко могут быть зарегистрированы.

Сеанс ритмических сигналов состоит из пяти серий и длится 5 мин. В начале каждой серии дается тире. Счет сигналов ведется от начального тире каждой серии. Отметив и записав номера сигналов, совпадающих с ударами поверяемого хронометра, и показания хронометра в этот момент, можно с помощью несложных вычислений определить поправку хронометра для среднего момента приема сигналов. Ритмические сигналы передаются несколько раз в сутки через длинноволновые и коротковолновые телеграфные передатчики.

Скелетная схема передачи ритмических сигналов показана на фиг. 18. На фиг. 18,*а* приведена схема манипуляции передатчика с помощью импульсов постоянного тока, подаваемых непосредственно из аппаратной Службы времени. На фиг. 18,*б* дана схема так называемой трансляции. В аппаратной Службы времени автомат подачи сигналов управляет работой звукового генератора и в линию подается сигнал низкой частоты 800 *гц*. После усиления в аппаратной радиотелеграфного узла сигналы направляются на радиостанции.

При всей простоте схемы фиг. 18,*а* радиотехникам и астрономам пришлось преодолеть довольно много трудностей, прежде чем удалось добиться действительно высокой точности передачи сигналов времени. В первые годы работы между контактами датчика сигналов в Службе времени и входом радиопередатчика включалось большое число механических реле. Такие реле срабатывают с запаздыванием, доходящим до 3 *мсек*. Запаздывают сигналы и при прохождении через длинные линии, преобразующие схемы, и через цепи самого передатчика. Общее запаздывание всего тракта передачи (от контактов часов до антенны передатчика) может возрасти до весьма заметной величины (до нескольких сотых секунды). Для повышения точности стремятся уменьшить это время запаздывания, и что особенно важно, обеспечить постоянство величины этого запаздывания. В самом деле, если время запаздывания хотя и значи-

тельно, но всегда одно и то же, то можно заранее отрегулировать автомат подачи сигналов таким образом, чтобы момент выхода сигнала из антенны соответствовал точному моменту времени. Собственно таким образом и поступают при подаче сигналов времени. Ведя непрерывный контроль принимаемых по радио собственных сигналов, Служба времени может регулировать работу подающего автомата так, чтобы обеспечить подачу сигналов в нужные моменты



Фиг. 18. Скелетная схема передачи ритмических сигналов.

Ч—подающие часы; *ск*—секундный контакт подающих часов; *Р*—реле; R_1 и R_2—защитные и согласующие сопротивления; *Б*—аккумуляторная батарея на 80—100 *в* с заземленной средней точкой; *К*—линейный коммутатор; *ЗГ*—звуковой генератор; $У_1$—линейный усилитель; *Пр*—выпрямитель, преобразующий импульсы звуковой частоты в импульсы постоянного тока. $У_2$—усилитель постоянного напряжения; *П*—передатчик.

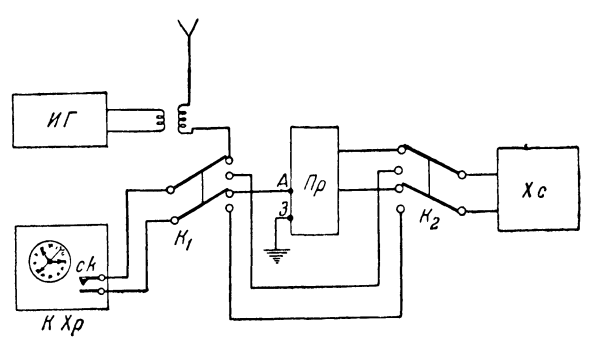
времени, скомпенсировав время запаздывания сигналов во всем передающем тракте.

Контрольный прием. Одной из важных работ Службы времени является контрольный прием своих собственных радиосигналов, а равно и радиосигналов, передаваемых другими службами. Обработка материалов радиоприема и астрономических наблюдений позволяет создать единую систему поправок (так называемые «сводные моменты»), которая равносильна накоплению большого числа астрономических наблюдений и наличию большого парка часов.

Наряду с запаздыванием сигналов в тракте передачи необходимо учитывать и запаздывание сигналов в тракте

приемника. Приемники тщательно изучаются с этой точки зрения.

Простейшая схема измерения запаздывания показана на фиг. 19. Местный измерительный генератор *ИГ* настроен на волну передающей станции. В приемнике сохраняется режим, существовавший при приеме сигналов времени. Входная цепь приемника разорвана и в разрыв с помощью переключателя K_1 можно включить контактный хронометр. В моменты замыкания контакта хронометра на вход приемника подаются сигналы от измерительного генератора,



Фиг. 19. Простейшая схема измерения запаздывания сигналов в радиоприемнике.

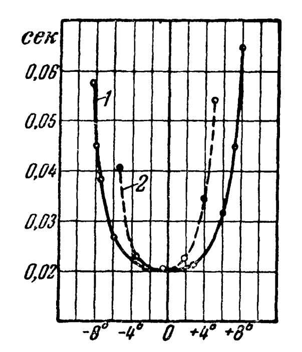
ИГ — измерительный генератор в. ч., *К.Хр* — контактный хронометр; *ск* — секундный контакт хронометра; *Пр* — радиоприемник; K_1 и K_2 — двухполюсные переключатели; *Хс* — хроноскоп.

тогда на выходе приемника получаются секундные сигналы. Эти сигналы с помощью переключателя подводятся к так называемому хроноскопу *Хс*, т. е. устройству для сравнения моментов прихода сигналов (описание хроноскопа дано на стр. 31). Поставив переключатели K_1 и K_2 в нижние (по схеме) положения, можно хронометр присоединить непосредственно к хроноскопу, минуя радиоприемник. Разница в моментах, отмечаемых хроноскопом в первом и втором случаях, и даст величину запаздывания сигналов в приемнике. На практике обычно обходятся без вспомогательного генератора, используя для этой цели специально передаваемое после каждой передачи ритмических сигналов длинное тире (длительностью 15 сек.).

Исследования запаздывания сигналов в различных типах приемников длинных и коротких волн, проведенные автором под руководством проф. М. С. Зверева в Службе времени Государственного астрономического института

им. П. К. Штренберга в течение 1941—1943 гг., показали значительную зависимость величины запаздывания от режима работы приемника и его схемы. Для примера на фиг. 20 изображена зависимость запаздывания от точности настройки приемника прямого усиления для двух разных волн. По горизонтальной оси отложены изменения настройки приемника в градусах шкалы конденсатора настройки.

Из всех элементов схемы приемника наибольшее запаздывание вносит низкочастотная часть приемника. Установлено, что применение трансформаторов низкой частоты, особенно если через первичные обмотки этих трансформаторов проходит постоянная составляющая анодного тока, вносит наибольшее запаздывание, причем оно нестабильно и сильно зависит от режима питания и настройки [Л. 13].



Фиг. 20. Зависимость значения запаздывания радиоприемника от точности настройки.

1 — для волны 2 884 *м*; 2 — для волны 2 060 *м*.

Хроноскоп. Сравнение принятых по радио сигналов с часами Службы времени производилось раньше либо на слух, либо записью на ленту хронографа таким же способом, как и при записи звездных прохождений (см. стр. 15).

Введение в практику работы Службы времени прибора, известного под названием хроноскоп, предназначенного для сравнения часов между собой и сравнения часов с сигналами времени, увеличило точность этих сравнений и освободило работников Службы времени от трудоемкой работы по расшифровке записей на ленте хронографа.

Впервые хроноскоп был построен и использован в Службе времени Центрального научно-исследовательского института геодезии, аэросъемки и картографии инж. П. С. Поповым. [Л. 14].

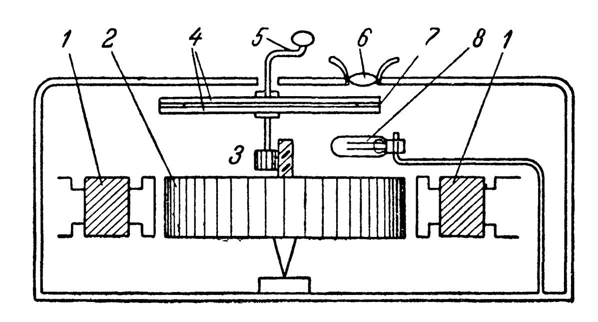
В службе времени Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга более простая модель хроноскопа по идее, предложенной проф. Л. В. Сорокиным, была построена инж. А. А. Водаром и механиком Н. И. Яковлевым [Л. 15].

В настоящее время хроноскоп внедрен в работу почти всех служб времени СССР.

Кроме приема сигналов и сравнения часов, с помощью хроноскопа можно быстро определять время запаздывания сигналов в радиоприемниках, реле, линиях и других электрических устройствах с точностью до одной-двух тысячных долей секунды.

Идея устройства хроноскопа основана на использовании стробоскопического эффекта. Устроен хроноскоп следующим образом (фиг. 21).

Синхроный электродвигатель типа колеса Лакура состоит из многополюсного (например, 100 полюсов) ротора



Фиг. 21. Эскиз устройства хроноскопа.

1 — статор; *2* — ротор; *3* — редуктор; *4* — стеклянные диски; *5* — ручка для первоначального запуска; *6* — окуляр для наблюдения цифр, освещаемых неоновой лампой; *7* — фотопленка с нанесенными делениями; *8* — неоновая лампа.

2 и статора *1*. Электродвигатель включается в анодную цепь последней ступени камертонного или кварцевого генератора, работающего на частоте 1 000 *гц*. Скорость синхронного электродвигателя зависит только от частоты питающего тока. Для случая, когда через электродвигатель, кроме переменной составляющей, проходит и постоянная составляющая тока, число оборотов электродвигателя и частота питающего электродвигатель тока связаны между собой следующим образом:

$$f = pn,$$

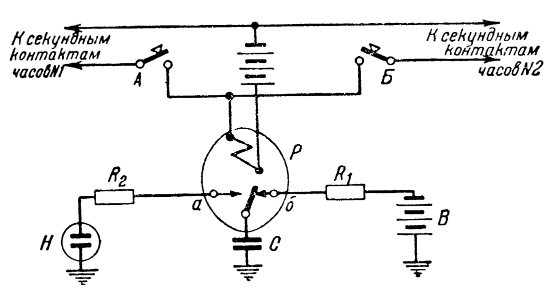
где f — частота питающего напряжения;

p — число полюсов ротора и n — число об/сек.

Так, для случая $f = 1\,000$ *гц* и $p = 100$

$$n = \frac{f}{p} = \frac{1\,000}{100} = 10.$$

С помощью механического редуктора *3* с отношением 10 : 1 ротор электродвигателя приводит в движение два сложенных вместе стеклянных диска *4*, между которыми зажата фотопленка *7*. На окружности пленки фотографическим путем нанесены прозрачные штрихи и цифры от 0 до 100. Диск вращается равномерно со скоростью 1 об/сек. Под диском расположена неоновая лампочка *8*, питающаяся от устройства, схема которого показана на фиг. 22. Работает эта схема следующим образом. Реле *Р* отрегулировано так, что при отсутствии тока в обмотке якорь притянут



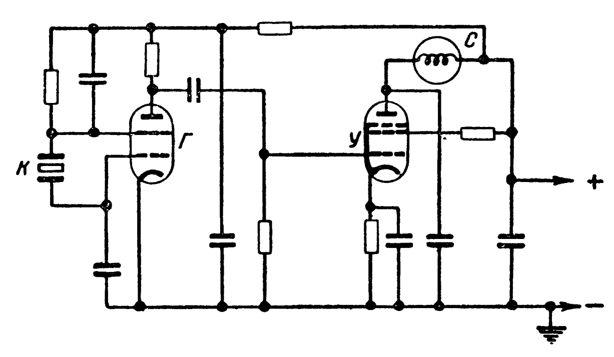
Фиг. 22. Схема питания неоновой лампы хроноскопа при сверке часов.

Р — поляризованное реле, *А* и *Б* — кнопки, включающие секундные контакты сверяемых часов № 1 и № 2; *Н* — неоновая лампа; *С* — конденсатор; R_1 — сопротивление в цепи заряда: R_2 — сопротивление в цепи разряда конденсатора *С*.

к штифту *б* и конденсатор *С* заряжается через сопротивление R_1 от батареи *В*. Секундные контакты сверяемых часов подключаются к схеме через кнопки *А* и *Б*. Если нажать, например, кнопку *А*, то каждую секунду реле будет срабатывать, перебрасывая якорь из положения *б* в *а*, тем самым разряжая конденсатор *С* через сопротивление R_2 на неоновую лампочку. Продолжительность вспышки определяется величиной постоянной времени $\tau = RC$. Ее подбирают так, чтобы вспышка длилась менее тысячной доли секунды, тогда изображение цифр не смазывается. Сравнение производится следующим образом: нажав кнопку *А*, наблюдатель через увеличительное стекло — глазок (см. *6*, фиг. 21) в крышке хроноскопа отмечает освещаемое ежесекундными вспышками изображение цифры на диске. При достаточной стабильности хода электродвигателя (т. е. стабильности частоты питающего тока) наблюдатель будет видеть одну и ту же цифру, так как скорость диска равна 1 об/сек, а вспышки неоновой лампы происходят тоже 1 раз в секунду. Если

разомкнуть кнопку *А* и нажать кнопку *Б*, то на хроноскоп будут поданы контакты часов № 2. Теперь вспышки будут освещать какую-то другую цифру.

Разность показаний хроноскопа в первом и втором случаях и дает разность хода обоих сравниваемых часов в долях секунды (разность хода в целое число секунд может быть установлена прямо сравнением показаний секундных стрелок обоих часов). Таким же способом производится сверка часов с сигналами, принятыми по радио.



Фиг. 23. Схема кварцевого генератора на 1 000 *гц*.
К—кварц; *Г*—генератор; *У*— усилитель мощности; *С*—статор синхронного электродвигателя хроноскопа.

Хроноскоп может найти широкое применение не только в Службе времени, но и во многих случаях, когда требуется измерить сдвиг фаз двух периодически повторяющихся процессов.

Схема кварцевого генератора на частоту 1 000 *гц*, предназначенного для питания электродвигателя хроноскопа, приведена на фиг. 23 [1]. Исследования, проведенные автором в 1948 г. с экземпляром низкочастотного кварца на 1 000 *гц*, показали, что при температурном коэффициенте около $1 \cdot 10^{-5}$ он может легко конкурировать с камертонным генератором и обеспечивает вполне удовлетворительную стабильность хода электродвигателя хроноскопа.

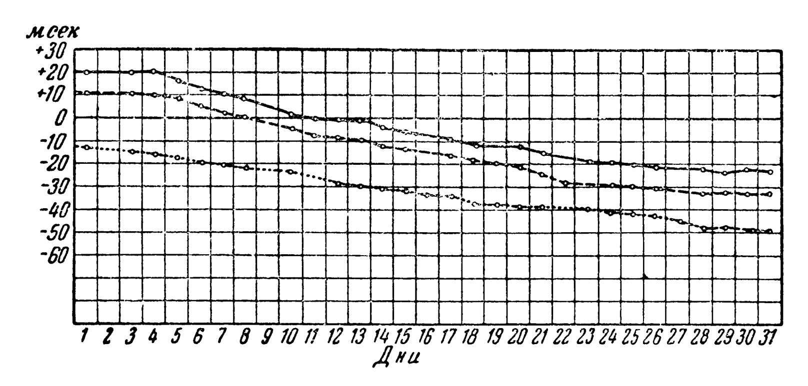
Подведем краткие итоги. Применение методов радиотехники и электроники модернизировало все процессы в Службе времени. Они позволили решить «великую задачу долготы» и задачу распространения времени. Они обеспечили Службу времени первоклассными хранителями — кварце-

---

[1] Построен инж. П. С. Поповым.

выми часами и сулят в перспективе создание часов еще более высокого класса. Они позволили автоматизировать процесс сравнения и контроля сигналов и упростить многие трудоемкие работы в Службе времени.

С другой стороны, усовершенствование методов измерения времени дает возможность повысить точность измерений частот, имеющих огромное значение для радиотехники. Современные эталоны частоты первого класса построены по тому же принципу, что и астрономические кварцевые часы.



Фиг. 24. Записи отклонений показания часов эталона частоты по контрольным приемам радиосигналов точного времени.

К ним добавляются элементы схем, позволяющие получить на выходе большое число частот, как в целое число раз меньших основной частоты (с помощью делителей), так и в целое число раз бо́льших (с помощью умножителей). Эталон связан с синхронными часами, показания которых регулярно поверяются по радиосигналам точного времени. Наблюдения за ходом этих часов позволяют судить о стабильности частоты эталона.

На фиг. 24 показана месячная запись отклонения показаний синхронных часов одного кварцевого эталона частоты от сигналов времени, передававшихся тремя различными службами времени. Положительные величины отклонений означают отставание, а отрицательные — опережение принятых сигналов по отношению к часам эталона. Отклонение за сутки на 1 *мсек* означает уход частоты эталона на $1 : (1\,000 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24) = 1{,}16 \cdot 10^{-8}$.

Поскольку, как видно из фиг. 24, три независимые друг от друга службы времени дают одинаковый ход кривых от-

клонения, то виновником отклонения следует считать эталон.

Из анализа кривых видно также, что уход часов эталона составляет около 1,5 *мсек* в сутки, что соответствует непостоянству частоты эталона менее чем $2 \cdot 10^{-8}$.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ИЗУЧЕНИЕ МЕТЕОРОВ

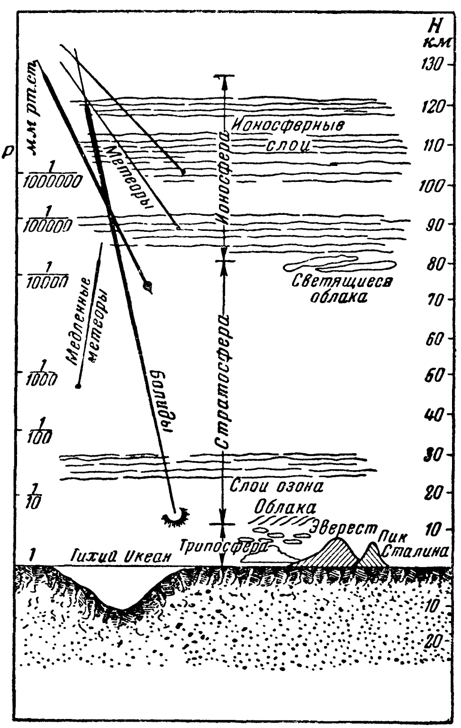
Природа метеоров

Метеорами были названы яркие вспышки, возникающие при испарении и сгорании в земной атмосфере небольших частиц материи, движущихся в мировом пространстве. Эти маленькие частицы, которые астрономы называют *метеорными телами*, врываются в нашу земную атмосферу с огромными скоростями (десятки километров в секунду) и тормозятся в атмосфере. Нагреваясь от трения о воздух, частицы в большинстве случаев раскаляются, затем плавятся и, наконец, испаряются. Яркую вспышку света, которую мы при этом наблюдаем на небе, в общежитии называют «падающей звездой».

Земля движется вокруг Солнца со скоростью около 30 *км/сек*. Относительная скорость, с которой метеорные тела врываются в земную атмосферу, колеблется от 12 до 72 *км/сек*. Даже наименьшая из этих скоростей все же настолько значительна, что метеорные тела, влетая в земную атмосферу, накаляются от трения о воздух до яркого свечения. Средняя высота, на которой происходит возгорание обычных метеоров, 120—110 *км*, а средняя высота их потухания — 90—80 *км*. Высоты эти зависят от относительных скоростей метеоров и их размеров. Для более быстрых метеоров эти высоты больше, для медленных — меньше, для крупных метеоров — ниже, для малых — выше. На фиг. 25 наглядно изображены высоты вспышек и погасаний для быстрых и медленных метеоров.

Иногда в редких случаях, если метеорное тело велико, оно не успевает полностью сгореть и испариться во время полета в атмосфере и на землю падают более или менее крупные осколки этого тела — *метеориты*. При этом возникает свечение значительно более интенсивное, чем метеорные вспышки; иногда оно имеет вид огненного шара, ярко освещающего все небо. Такое явление носит название *болида*.

В ясную безлунную ночь можно наблюдать 5—10 метеоров в час, особенно в осенние ночи, ближе к рассвету. Иногда можно наблюдать очень много вспышек, настоящий метеорный «дождь». Облака метеорных тел, движущихся в пространстве по определенным орбитам, называют *метеорными потоками*.



Фиг. 25. Земная атмосфера и пути метеоров и болида.

H — высота, *км*; *P* — давление, *мм* рт. ст.

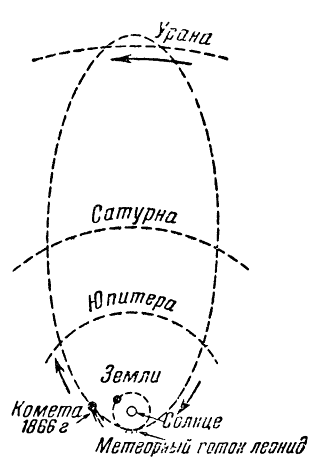
Некоторые метеорные «дожди», обязанные своим появлением метеорным потокам, повторяются периодически в определенные дни каждый год или спустя несколько лет.

Метеорные тела потока движутся в пространстве параллельными путями, но из-за эффекта перспективы кажутся нам разлетающимися из одной точки примерно так, как кажутся сходящимися уходящие вдаль параллельные рельсы. Эта точка неба называется *радиантом* потока, а сам

поток получает название того созвездия, в котором находится его радиант (фиг. 26). Так различают поток Персеид (радиант которого находится в созвездии Персея), появляющийся регулярно 10—12 августа, или поток Леонид (радиант которого находится в созвездии Льва), появляющийся 16—17 ноября; другие потоки известны под названиями Драконид, Лирид, Геминид и пр. (см. приложение 1).

Астрономы установили связь метеорных потоков с кометами. Некоторые кометы, двигаясь в пространстве по замкнутым эллиптическим орбитам, постепенно распадаются и рассеиваются, давая начало метеорным потокам.

Фиг. 26. Все пути этих метеоров кажутся выходящими из точки P, обведенной кружком в созвездии Дракона. Эта точка — радиант потока Драконид.



Фиг. 27. Взаимное расположение орбит Земли, некоторых планет и кометы 1866 г., давшей начало метеорному потоку Леонид.

На фиг. 27 показаны орбиты Земли, некоторых планет и кометы 1866 г. Земля в определенное время года пересекает орбиту этой кометы и встречает при этом рой метеорных тел, оторвавшихся от кометы и несущихся вслед за ней. Этот метеорный поток известен под названием Леонид. Персеиды связаны с кометой, появившейся в 1862 г., Лириды — с кометой 1861 г. и т. д.

На фиг. 28 показан случай образования метеорного дождя при пересечении Землей орбиты одной из комет. Так, например, в ночь с 9 на 10 октября 1946 г. Земля прошла через место сближения ее орбиты с орбитой кометы Джиакобини-Циннера. Просвет (наименьшее расстояние) между орбитами Земли и кометы составил всего лишь 200 000 *км*. Земля прошла это место сближения примерно через 15 суток после того, как через него прошла сама комета. Огромный рой метеорных тел, сквозь который пронеслась Земля в эти дни, вызвал весьма интенсивный метеорный дождь, наблюдавшийся на Земле.

Подсчитано, что каждые сутки с Землей встречается огромное число метеорных тел. Не менее двух миллионов вспышек, которые могли бы быть видимы невооруженным глазом при ясном безлунном ночном небе, происходит за сутки в земной атмосфере [Л. 19]. Каждый год на Землю падают тысячи тонн метеорного вещества. За последние годы интерес к изучению метеоров особенно возрос в связи с работами советских ученых.

Фиг. 28. Образование метеорного потока при прохождении Земли сквозь метеорный рой, тянущийся за кометой.

Советским астрономам принадлежит ведущая роль в изучении строения Вселенной. Вооруженные марксистской теорией, они успешно развивают космогонию — науку о происхождении и развитии небесных тел. В 1944 г. известный советский ученый акад. О. Ю. Шмидт выдвинул новую гипотезу происхождения Земли и планет. Согласно этой гипотезе планеты образовались в результате сгущения материи, состоящей из газа, пыли и более крупных частиц.

Изучение метеоров важно не только потому, что дает много новых данных для развития теории происхождения Вселенной, оно помогает также в решении ряда практических задач.

Для развития современных авиации и артиллерии все большее значение приобретает изучение стратосферы. Для выяснения условий полета высотных самолетов или снарядов дальнобойной артиллерии необходимы сведения о состоянии

высоких слоев атмосферы. Получать эти сведения помогают наблюдения метеоров. Советские астрономы, наблюдая метеоры и метеорные следы, установили, что в стратосфере постоянно дуют ветры, достигающие иногда силы урагана.

Ионизация нижнего слоя ионосферы (лежащего на высоте 80 *км*) оказалась связанной с метеорами. Изучение роли метеоров в ионизации ионосферы должно дать сведения, важные с точки зрения обеспечения надежности радиосвязи.

Какими же средствами обладают астрономы для изучения метеоров?

Каждый метеор живет немногие секунды, и для земного наблюдателя жизнь метеора проявляется только в виде более или менее яркой световой вспышки. Для изучения метеоров до недавнего прошлого астрономы могли пользоваться только визуальными и фотографическими методами.

В частности, ценные сведения о химическом составе метеоров дала фотография спектра метеора. Получение таких фотографий является очень сложной задачей. Впервые фотоспектрограммы метеоров удалось получить советскому ученому — астроному С. Н. Блажко еще в 1904 г. На основании этих спектральных исследований была установлена тождественность химического состава метеорных тел и метеоритов.

К сожалению, визуальным и фотографическим наблюдениям часто мешают свет Луны и облака, а дневные наблюдения и вовсе невозможны. Развитие радиотехники дало в последние годы астрономам новое, весьма ценное средство для изучения метеоров [1].

Радиолокационный метод изучения метеоров

Когда метеорное тело влетает в атмосферу Земли, происходит, как мы уже говорили, нагревание его из-за трения о воздух. Метеорное тело раскаляется и вследствие этого происходит ионизация сталкивающихся с ним молекул газа. За метеором тянется столб (точнее — расширяющийся цилиндр) ионизованного газа в десятки километров длиной. Постепенно под действием ветров этот столб ионизованного газа рассеивается. Если направить на метеорный след радио-

[1] Недавно в Советском Союзе проф. А. Г. Калашниковым осуществлен еще один новый — магнитный — способ наблюдения метеоров.

волны, то при соответствующих условиях они отразятся от ионизованного газа и хотя отраженная энергия очень невелика, она может быть принята высокочувствительным радиоприемником. Это тот же принцип, который применяется в радиолокации, и аппаратурой для исследования метеоров с помощью радиоволн служат радиолокационные станции. Поэтому прежде чем излагать результаты применения этого нового метода изучения метеоров для тех читателей, которые еще не знакомы с радиолокационной техникой, опишем в самом сжатом виде основные принципы работы радиолокационной станции.

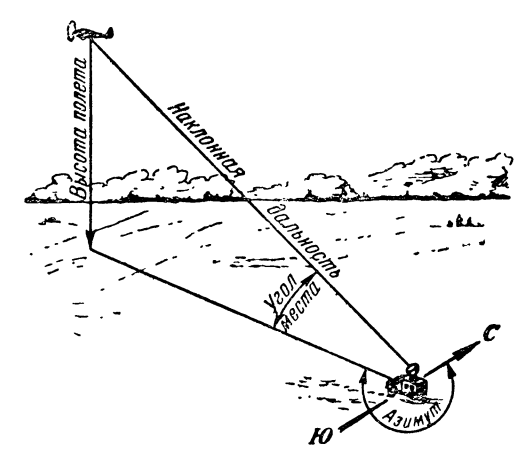
В основе радиолокации лежит свойство радиоволн отражаться от различных тел. Это замечательное свойство было открыто изобретателем радио А. С. Поповым летом 1897 г. во время опытов, проводившихся им по организации радиосвязи на Балтийском флоте. А. С. Поповым было отмечено, что когда между двумя судами, участвовавшими в опытах, проходило третье судно, то радиосвязь нарушалась.

Физические процессы, происходящие при отражении радиоволн, можно в упрощенном виде представить себе следующим образом. Если на пути распространения электромагнитной волны встречаются какие-либо тела, то в них под влиянием электрического поля волны возникают токи той же частоты, что и в пришедшей волне (в проводящих телах это токи проводимости, в непроводящих телах — диэлектриках — это токи смещения). Токи, возникшие в теле, создают в окружающем пространстве новые вторичные электромагнитные волны, которые рассеиваются во все стороны. Хотя энергия этих отраженных волн значительно слабее первичных, они могут быть приняты с помощью специального высокочувствительного приемника.

Радиоволны отражаются (рассеиваются) землей, поверхностью воды, деревьями и другими телами с различной интенсивностью, зависящей от природы и свойств рассеивающих тел и длины волны. Отражают радиоволны и ионизированные слои газа.

Во всех случаях для того, чтобы отражение радиоволн было достаточно интенсивным, требуется, чтобы длина падающей волны была меньше или хотя бы сравнима с размерами отражающего тела. По этой причине радиолокация для обнаружения не очень больших отражающих объектов (например, самолетов) использует самые короткие радиоволны (метровые, дециметровые и сантиметровые).

Эти короткие радиоволны имеют еще одно крупное преимущество. Для этих волн проще создать остро направленные антенны. Применение остро направленных антенн позволяет сосредоточить излучаемую энергию в узком пучке и тем самым резко повысить энергию, падающую на отражающее тело, а следовательно, увеличить энергию отраженного сигнала. Кроме того, направление антенны позволяет определить направление, в котором находится облучаемый объект (самолет, судно, метеорный след и пр.).



Фиг. 29. Координаты объекта, определяемые с помощью радиолокационной станции.

Вращая антенну радиолокатора, можно в момент появления отраженных сигналов от объекта определить направление на него, т. е. угол места и азимут цели (фиг. 29).

Определение расстояния до объекта основано на следующем принципе.

Радиолокационный передатчик работает в импульсном режиме, т. е. излучает радиоволны не непрерывно, а отдельными «порциями» (импульсами). Излучив порцию радиоволн, передатчик автоматически выключается и начинает работать приемное устройство, которое принимает импульс, отразившийся от объекта. Через определенный короткий промежуток времени передатчик излучает новую порцию радиоволн, а затем снова выключается и станция переходит на прием отраженных от цели волн, приемное устройство снова принимает отраженный импульс и так далее. Промежуток времени между посылкой очередного

импульса и приходом отраженного импульса зависит от расстояния до отражающего объекта.

Длительность импульсов современных радиолокационных станций в зависимости от их назначения лежит в пределах от 0,1 до 50 *мксек*. Частота повторений (посылок) импульсов тоже бывает различна в зависимости от назначения станции — от 50 до 5 000 раз в секунду.

При повторении импульсов промежуток времени между посылкой импульса и приходом его отражения остается одинаковым, пока не изменяется расстояние до отражающего объекта. Измерив промежуток времени между посылкой очередного импульса и моментом прихода его отражения, определяют время, затраченное импульсом электромагнитных волн на прохождение пути от радиолокационной станции до отражающего объекта и на обратный путь к радиолокационной станции. Тогда расстояние L (в километрах) до объекта может быть определено из выражения

$$L = \frac{ct}{2},$$

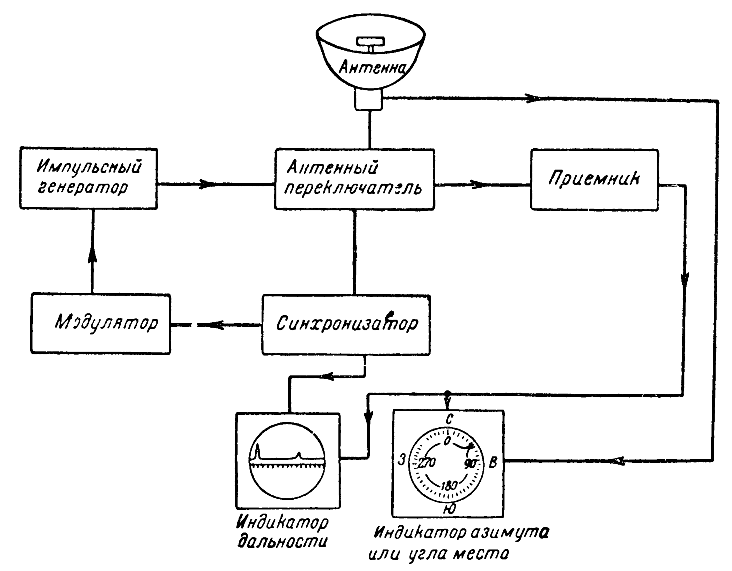
где c — скорость распространения радиоволн, т. е. скорость света, равная приблизительно 300 000 *км/сек*;
t — время (в секундах), затраченное радиоволной на прямой и обратный путь.

Вследствие большой скорости распространения радиоволн промежутки времени t получаются очень малыми (порядка долей миллисекунды) и необходимо специальное устройство для измерения столь малых промежутков времени. Таким устройством является электронно-лучевая трубка, включенная на выходе радиоприемника, на экране которой появляются отметки от прямого и отраженного сигналов. Электронный луч в трубке управляется с помощью специальной схемы развертки таким образом, что имеется возможность проградуировать расстояние между отметками сигналов прямо в километрах.

Упрощенная скелетная схема радиолокационной станции представлена на фиг. 30. Синхронизатор — сложное ламповое устройство — вырабатывает пусковые импульсы нужной формы и длительности, которые через модулятор воздействуют на генератор и заставляют его создавать импульсы высокочастотных колебаний нужной длительности, а также управляют работой индикаторов угловых координат и дальности. Антенный переключатель защищает приемник от пря-

мого воздействия мощных импульсов своего передатчика, подключая антенну в моменты посылки импульсов к передатчику, а в перерыве между импульсами — к приемнику.

Приемник для приема импульсных сигналов является весьма чувствительным устройством с широкой полосой пропускания для неискаженного воспроизведения формы отраженных от цели импульсных сигналов. К выходу приемника подключен индикатор дальности, представляющий собой



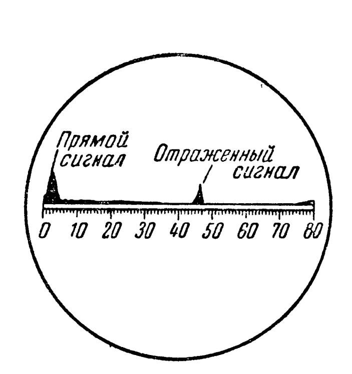
Фиг. 30. Упрощенная скелетная схема радиолокационной станции.

электронно-лучевую трубку для отметки моментов посылки прямого сигнала и прихода отраженного. Индикатор снабжен шкалой, градуированной в километрах (фиг. 31). Индикатор угловых координат (азимута или угла места) связан с механизмом вращения антенны так, что определенному положению антенны соответствует определенное направление отклонения на трубке этого индикатора. Поэтому в момент, когда антенна направлена на цель и через приемник к индикатору попадает отраженный импульс, положение отметки на экране трубки позволяет определить ту или иную угловую координату.

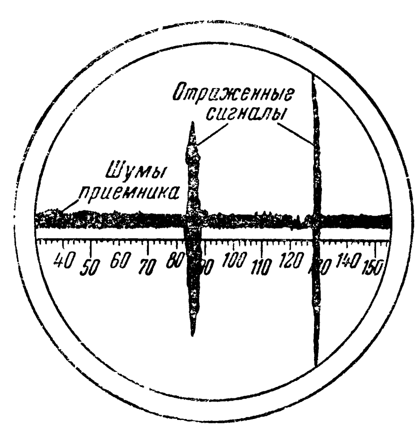
По предложению автора и астронома Б. Ю. Левина радиолокационная аппаратура была применена для наблюдения метеорного потока Драконид 9—10 октября 1946 г. [Л. 18].

Испытания, организованные по поручению Государственного астрономического института им. К. П. Штернберга, подтвердили возможности и несомненные достоинства этого метода наблюдения метеоров.

Импульсы радиолокатора, отраженные от столба ионизованного газа (метеорного следа), принимались приемником радиолокационной станции и на экране электронно-лучевой трубки, включенной на выходе приемника, получались сигналы, отраженные от метеорных следов. На фиг. 32 воспроизведены два таких типичных сигнала. Первый пришел от следа, находившегося на расстоянии 85 *км*, а второй 130 *км* от радиолокационной станции. Антенна радиолокационной



Фиг. 31. Изображение прямого и отраженного от цели сигналов на экране трубки индикатора дальности и шкала в километрах.

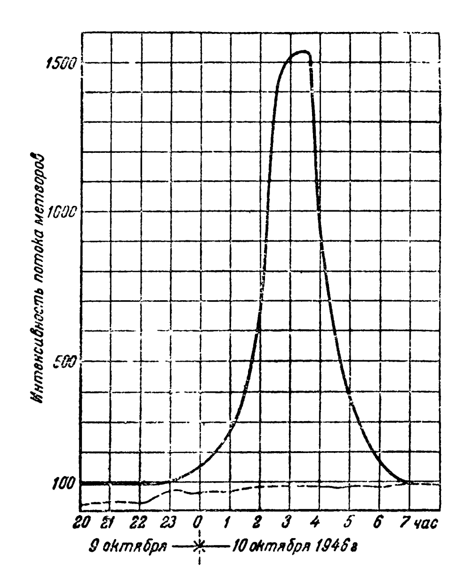


Фиг. 32. Изображения двух отраженных сигналов от метеорных ионизованных следов.

станции, обладавшая достаточно острой направленностью, была установлена так, что излучаемые ею волны были направлены главным образом в зенит и, следовательно, поскольку направление, в котором лежит след, известно, расстояние до метеорного следа одновременно позволяет определить и примерную его высоту.

Если поставлена задача определения *интенсивности метеорного потока*, т. е. подсчета числа метеоров за определенный период времени, то антенна делается малонаправленной или вращается вокруг своей оси с тем, чтобы захватить возможно больший участок неба. Регистрация ведется автоматической записью на фотопленку. Характеристику интенсивности метеорного потока по сравнению с интенсивностью в

обычную ночь можно видеть на фиг. 33. Сплошной кривой дана обработанная запись числа метеоров в час во время метеорного потока 9—10 октября 1946 г., а штриховой — запись в обычную ночь. Как видно из фиг. 33, максимум потока пришелся между 3 и 4 час. по мировому времени. Таким образом, для наблюдателя в Москве или восточнее Москвы единственным средством наблюдения максимума



Фиг. 33. Интенсивность отражений от метеоров во время метеорного потока (сплошная кривая) и в обычную ночь (штриховая кривая).

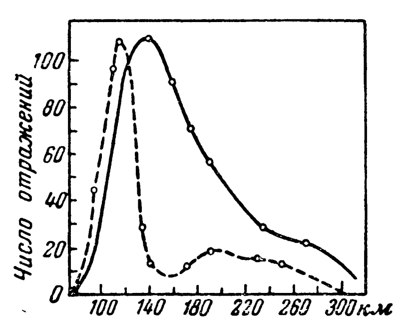
потока мог служить только радиолокационный метод, так как визуальные и фотографические методы нельзя было применить (в Москве было 6 час. утра).

Наблюдения метеорных отражений на экране электронно-лучевой трубки осциллографа показали, что отраженный сигнал появляется почти мгновенно, «стоит» некоторое время неподвижно, иногда слегка перемещаясь на небольшие расстояния, а затем очень быстро исчезает. Время, в течение которого отражение можно наблюдать на экране, колеблется от долей секунд (для большинства метеоров) до десятков секунд и даже 1—2 мин. в более редких случаях.

Интенсивность отражений от метеоров

Число отражений от метеоров, зарегистрированных радиолокационной станцией в единицу времени (например, за час), зависит как от интенсивности метеорного потока, так и от свойств самой радиолокационной станции.

Так, например, чем больше мощность передатчика радиолокационной станции, тем больше при одних и тех же условиях мощность сигнала отражения от метеорного следа, следовательно, тем более слабые метеоры могут быть обнаружены данной радиолокационной станцией. С другой стороны, мощность отраженного сигнала будет тем больше, чем больше поверхность ионизованного столба, создаваемого метеором, и чем сильнее ионизация в этом столбе. Степень ионизации в метеорном следе зависит от размеров метеора и его скорости. Подсчитано, что метеор, наблюдаемый визуально (по яркости) как звезда первой величины (см. гл. 5) и летящий со скоростью 40 *км/сек*, может создать на 1 *см* своего пути 10^{12} электронов. Более слабый метеор, например шестой звездной величины, создаст 10^{10} электронов.



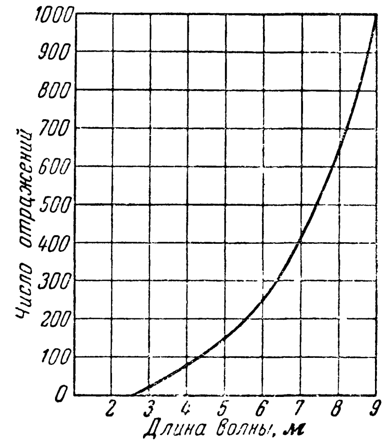
Фиг. 34. Зависимость числа отражений от метеоров от дальности для слабонаправленной антенны (сплошная кривая) и остронаправленной (штриховая кривая).

Интенсивность отражений от метеоров в зависимости от некоторых параметров радиолокационной станции (мощности излучения, направленности антенны, длины волны) была изучена экспериментально.

Как и следовало ожидать, мощность принимаемого сигнала заметно возрастает при увеличении направленности антенны и поэтому, чем острее диаграмма направленности антенны, тем более слабые метеоры можно обнаружить. Однако менее направленная антенна перекрывает большую область обзора и поэтому обнаруживает большее суммарное число метеоров. На фиг. 34 показаны зависимости числа наблюденных отражений от дальности для остронаправленной (штриховая кривая) и слабонаправленной антенны (сплошная кривая).

Хотя на малых расстояниях число отражений для остронаправленной антенны больше, чем для слабонаправленной, но суммарное число отражений на всех расстояниях оказалось для ненаправленной антенны в 2 раза больше, чем для направленной.

Зависимость числа наблюдаемых отражений от мощности передатчика (при одной и той же длине волны) оказывается пропорциональной корню квадратному из мощности передатчиков.



Фиг. 35. Примерная зависимость числа отражений от метеоров от длины волны передатчика.

Так, например, передатчик мощностью 200 *квт* в импульсе обнаруживал в обычные дни (в отсутствие метеорного потока) в 45 раз больше отражений, чем передатчик с мощностью в 100 *вт* ($\sqrt{200\,000/100} = \sqrt{2\,000} \approx 45$).

Зависимость числа наблюдаемых отражений от длины волны при прочих равных условиях оказалась примерно равной отношению кубов длин волн. Эта зависимость показана графически на фиг. 35. Чем длиннее волна, тем более слабые метеоры обнаруживает радиолокационная станция. Так, радиолокатор на волне 2,83 *м* обнаруживал метеоры до третьей звездной величины, на волне 5,35 *м* — до шестой величины и на волне 9,22 *м* — до 7,5 величины, превосходя в последнем случае чувствительность человеческого глаза.

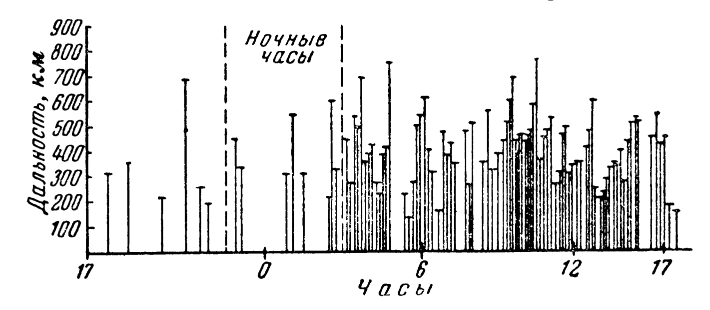
Достоинства радиолокационного метода наблюдения метеоров

С помощью радиолокационного метода можно вести счет метеоров, определять радиант потока, измерять скорость метеоров.

Чувствительность радиолокационного метода по крайней мере такая же, как и визуального или фотографического. Однако несомненно, что главным достоинством нового метода изучения метеоров является возможность вести наблю-

дения не только в темные, ясные ночи, но и при небе, закрытом облаками или освещенном яркой Луной, а также днем, т. е. круглосуточно.

За последние годы с помощью радиолокационной аппаратуры были обнаружены многие *дневные метеорные потоки*, о которых раньше ничего не было известно. В середине июня 1947 г. был обнаружен мощный метеорный поток, ко-



Фиг. 36. 24-часовая запись наблюдения метеоров в середине июня 1947 г.

торый постепенно к августу начал ослабевать. Характер этих дневных потоков можно видеть на фиг. 36. В последующие годы этот поток был хорошо изучен и оказалось, что он представляет собой смесь отдельных потоков; наиболее интенсивным из них является поток, наблюдаемый с конца мая по конец июня, радиант которого находится в созвездии Овна.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ИЗУЧЕНИЕ ЛУНЫ

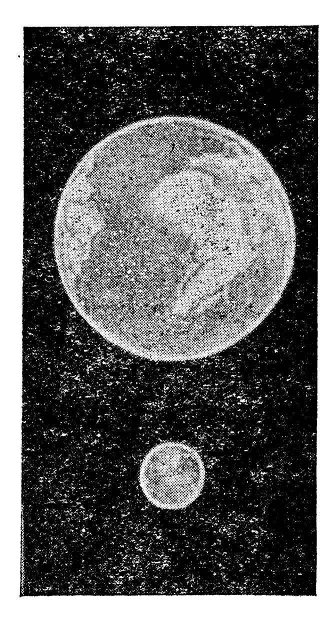
Основные сведения о Луне

Луна — вечный спутник Земли, обращается вокруг Земли подобно тому, как планеты обращаются вокруг Солнца. Орбита Луны — эллипс, поэтому ее расстояние до Земли периодически несколько изменяется. Наибольшее расстояние равно 406 730 *км*, наименьшее — 356 400 *км*. Среднее расстояние считается равным 384 400 *км*.

Средняя скорость движения Луны по орбите составляет около 1 *км/сек* (при изменении расстояния до Земли несколько меняется и скорость движения Луны по ее орбите). Полный оборот вокруг Земли Луна совершает за 27,3216 су-

ток (27 суток 7 час. 43 мин. 11,5 сек.). Этот промежуток времени называется *звездным месяцем.* Период обращения Луны вокруг своей собственной оси равен периоду ее обращения вокруг Земли, т. е. звездному месяцу, поэтому она всегда обращена к нам одной своей стороной. Диаметр Луны равен 3 484 *км* (0,27 земного диаметра). Сравнительные размеры Земли и Луны показаны на фиг. 37.

Луна почти лишена атмосферы, на ней нет воды. День и ночь на Луне длятся по две недели. При этом температура поверхности Луны меняется от +135° С днем, до —160° С ночью. Характер изменения температуры поверхности Луны при переходе от дня к ночи указывает на то, что поверхность Луны имеет малую теплопроводность. Объясняется это тем, что она покрыта густым слоем пыли. Образовался этот слой пыли в результате падения метеоритов на лунную поверхность. При этом существенную роль играет то обстоятельство, что Луна почти лишена атмосферы.



Фиг. 37. Сравнительные размеры Земли и Луны.

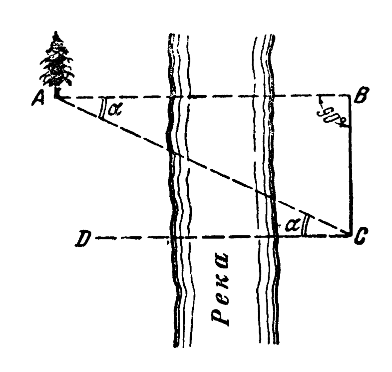
Заметим кстати, что до недавнего времени считалось, что Луна совершенно лишена атмосферы, однако в 1949 г. работами советского астронома Ю. Н. Липского установлено, что атмосфера на Луне существует, но плотность ее очень мала. Общая масса лунной атмосферы составляет едва одну стотысячную массы атмосферы Земли.

Метеориты, падающие на поверхность Луны, не тормозятся заметно в ее очень разреженной атмосфере (в отличие от того, что происходит на Земле), долетают до поверхности Луны с огромными скоростями, в десятки раз превышающими скорость артиллерийских снарядов, и, ударяясь о почву, разрушаются сами и разрушают поверхность Луны, превращаясь в пыль. Вследствие отсутствия сколько-нибудь сильных ветров пыль эта толстым слоем покрывает всю поверхность Луны.

Измерение расстояния до Луны радиотехническими методами

Астрономы определяют расстояние до Луны или других небесных тел методом измерения параллакса.

Параллаксом называется угол, под которым от объекта (Луна, Солнце, звезды) виден *базис* наблюдений, т. е. расстояние по прямой линии между двумя точками, из которых определяется направление на объект. На фиг. 38 показан широко применяемый на практике способ определения расстояния AB до недоступного предмета, например до дерева на противоположном берегу реки. Расстояние BC является базисом, из крайных точек которого B и C наблюдатель может видеть дерево. Угол BAC или соответственный ему DCA, равный α, называется параллаксом. Измерив с возможной точностью угол α и расстояние BC, т. е. базис, можно, пользуясь тригонометрическими соотношениями, существующими для треугольников, определить расстояние AB. Для случая приведенного на фиг. 38 прямоугольного треугольника ABC



Фиг. 38. Измерение расстояния до недоступного предмета.

$$AB = BC \operatorname{tg}(90 - \alpha) = BC \operatorname{ctg} \alpha.$$

Чем больше базис, тем точнее можно измерить параллакс и тем точнее можно определить расстояние. Для измерения расстояний до тел солнечной системы, сравнительно близких к нам, например до Луны, достаточным базисом могут служить расстояния порядка радиуса Земли.

Измерение расстояния до Луны можно произвести, например, таким способом. Выберем два удаленных друг от друга пункта так, что в одно и то же время в одном пункте Луна находится вблизи горизонта, а во втором — в верхней кульминации. Измерив угол между этими направлениями и зная расстояние между пунктами наблюдений, можно найти расстояние до Луны.

Для звезд, лежащих далеко за пределами солнечной системы, базисы, имеющие размеры порядка радиуса Земли,

уже недостаточны. В этих случаях применяют больший базис, а именно большую полуось земной орбиты. Параллаксом звезды в этом случае называется угол, под которым с данной звезды была бы видна полуось земной орбиты. Практически определение параллакса звезд производится по специальным фотографиям, получаемым через полгода одна после другой, когда Земля находится в противоположных точках своей орбиты. Сопоставляя эти фотографии, определяют изменение направления на данную звезду по отношению к другим звездам.

Средний экваториальный горизонтальный параллакс Луны, т. е. параллакс, который получился бы при наблюдении Луны в точках, расположенных на земном экваторе, равен 57′2″, 70, что соответствует среднему расстоянию от Земли — 384 400 *км*.

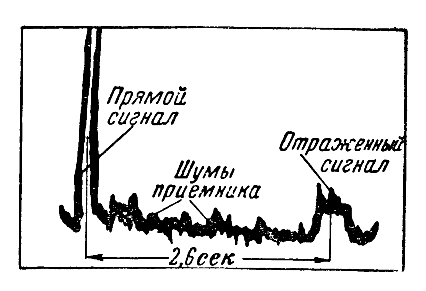
Еще в 1928 г. советские ученые Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси рассматривали вопрос о возможных методах наблюдения радиосигналов, посланных с Земли и отраженных от Луны. Однако состояние техники того времени не позволяло осуществить такой опыт.

В связи с развитием радиотехники, в частности, импульсной техники и радиолокации в 1942—1944 гг. академики Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси, вновь вернувшись к этой идее, пришли к выводу о возможности радиолокации Луны и определили параметры радиолокационной станции, с помощью которой можно было бы получить сигнал достаточной мощности для регистрации его на Земле. Они доказали, что радиолокационным методом измерение расстояния до Луны может быть выполнено с большей точностью, чем это достигнуто в астрономии. Радиолокационный метод имеет и ряд других преимуществ перед астрономическим, например он позволяет производить измерение из одного пункта, а не из двух, как это требуется при астрономических измерениях [Л. 25].

После окончания войны идея Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси была осуществлена.

Для локации Луны была применена радиолокационная станция на волне 2,69 *м* (около 111 *мггц*). Излучались импульсы длительностью в 0,25 сек. с частотой повторения 1 раз в 4 сек. Антенна имела поверхность в 64 $м^2$ и состояла из 64 диполей. Во время опыта она попеременно переключалась с передачи на прием. Антенна могла перемещаться только по азимуту, так что исследования могли производиться только при восходе и заходе Луны. Отраженные

импульсы наблюдались на экране электронно-лучевой трубки индикатора радиолокационной станции (фиг. 39), а также прослушивались с помощью громкоговорителя. В этих первых опытах измерение промежутка времени между моментом посылки сигнала и получением отражения производилось с относительно небольшой точностью и оказалось равным около 2,6 сек. Считая скорость распространения радиоволн в разреженном пространстве 299 792 *км/сек*, можно определить общий путь сигнала с Земли на Луну и обратно на Землю в 779 460 *км*, или расстояние от Земли до Луны в 389 730 *км*, что находится в хорошем согласии с определениями, сделанными астрономическими методами.



Фиг. 39. Изображение прямого и отраженного от Луны сигналов на экране трубки индикатора.

При усовершенствовании методики точность измерений расстояния от Земли до Луны радиолокационным методом может быть значительно повышена.

Искусственный спутник Земли

Успех опытов установления «радиоконтакта» с Луной привлек к этой проблеме внимание радиоспециалистов. Возникли предложения использовать Луну в качестве отражателя, позволяющего осуществить радиосвязь, радиовещание и телевидение на волнах метрового и дециметрового диапазонов далеко за пределами прямой видимости. В одном таком проекте предусматривалось применение громадной параболической антенны диаметром порядка 100 *м*, излучающей узкий пучок радиоволн в направлении Луны. Если бы поверхность Луны обладала хорошей отражательной способностью для радиоволн, то отраженные сигналы можно было бы принять в любом пункте на освещенной Луной половине поверхности Земли. Передающая антенна должна иметь устройство, которое автоматически меняло бы направление антенны по мере видимого смещения Луны, так чтобы она все время была направлена на Луну (подобные гидирующие устройства широко применяются в современной астрономии для длительной экспозиции

при фотографировании слабосветящихся космических тел).

В 1951 г. такие опыты были произведены на частоте 418 *мггц* ($\lambda = 72$ *см*). Передатчик мощностью в 20 *квт* работал в телеграфном режиме и излучал частотно-модулированные телеграфные сигналы. Передающая антенна представляла собой прямоугольный рупор из проволочной сетки. Рупор имел длину 21 *м* и выходное отверстие (раствор) $6{,}2 \times 7{,}4$ *м*. Эта антенна была установлена неподвижно, под углом 7° к горизонту, поэтому облучение Луны сигналами было возможно короткое время, пока Луна при своем движении оказывалась в пределах диаграммы направленности антенны.

Приемная станция находилась на расстоянии 1 240 *км* от передающей. Ее антенна представляла собой параболическое зеркало диаметром около 10 *м*. Специальное гидирующее устройство позволяло непрерывно перемещать антенну так, чтобы она была все время направлена на Луну.

Отраженные от Луны сигналы приходили с запаздыванием около 2,5 сек. По мере вхождения Луны в диаграмму направленности передающей антенны сила принимаемых сигналов постепенно нарастала вследствие того, что постепенно увеличивалась плотность энергии, падающей на поверхность Луны. Через 10 мин. после появления первых отраженных сигналов сила приема достигала своей наибольшей величины и в течение последующих 10 мин. почти не изменялась. В следующие 10 мин. сила приема постепенно ослабевала и, наконец, в момент выхода Луны из диаграммы направленности передающей антенны прием полностью прекращался. Отношение величины наибольшего сигнала к величине собственных шумов приемника было равно 8,5 *дб* при ширине полосы пропускания приемника 1 *кгц*.

Интересный проект решения проблемы дальней радиосвязи на метровом диапазоне, в частности, для дальнего телевидения предложен в 1950 г. советским ученым П. В. Шмаковым [1].

Его предложение сводится к созданию искусственного спутника Земли, который выполнял бы роль отражателя радиоволн, излучаемых с Земли. Для этого поверхность спутника должна иметь близкую к шару форму и обладать хорошей отражательной способностью. Отраженные таким

---

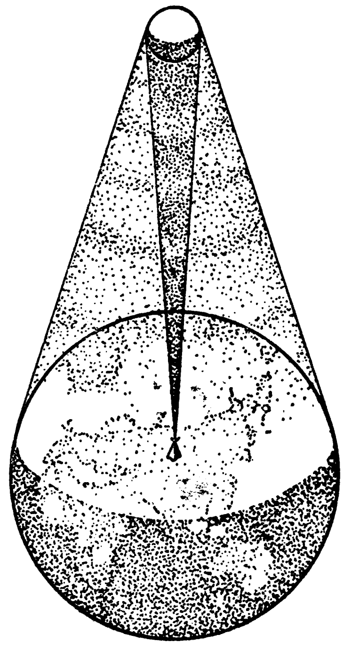
[1] Г. И. Бялик, Новое в телевидении, ГЭИ, 1952, стр. 27.

спутником радиоволны могли бы облучать почти половину поверхности земного шара (фиг. 40).

Какую скорость надо сообщить телу, чтобы оно могло преодолеть силу земного притяжения и превратиться в искусственного спутника, видно из фиг. 41, на которой даны траектории тел, покидающих Землю, при различных начальных скоростях.

Теоретические расчеты, базирующиеся на работах замечательного русского ученого и изобретателя К. Э. Циолковского (1857—1935), показывают возможность создания такого спутника.

Интересно привести некоторые результаты расчетов, относящихся к такому спутнику Земли или, как называл его К. Э. Циолковский, «Внеземной станции».

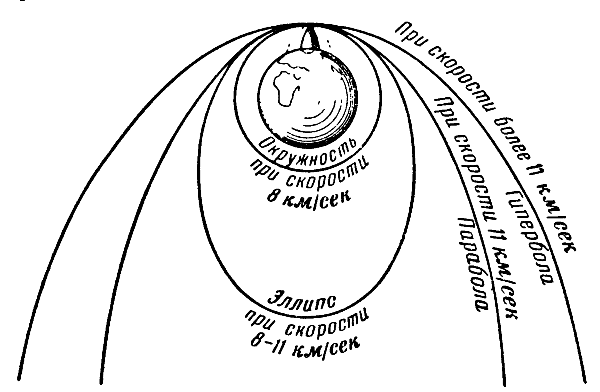


Фиг. 40. Отражение радиоволн искусственным спутником Земли.

Если такой спутник будет обращаться вокруг Земли на расстоянии двух земных радиусов, то период обращения его составит всего 7,3 часа. Такой спутник будет обгонять Землю в ее суточном вращении, восходя на западе и заходя на востоке. Для целей радиоретрансляции он был бы поэтому мало пригоден. Гораздо удобнее было бы, если бы период обращения спутника равнялся 24 час. Как следует из тех же расчетов, это возможно в случае, если спутник будет находиться от центра Земли на расстоянии 6,06 земных радиуса, т. е. около 35 000 *км*. В этом случае спутник будет все время находиться в зените какой-либо одной определенной точки Земли [Л. 24]. Если бы на Земле в этой точке была установлена передающая телевизионная станция, то ее антенну уже не надо было бы вращать. Отраженные от спутника радиоволны облучали бы всегда одну и ту же поверхность (почти полусферу) Земли.

Много технических задач надо разрешить, прежде чем удастся осуществить такой проект. Очень большой ско-

ростью должен обладать такой спутник, чтобы преодолеть силу земного притяжения и покинуть пределы нашей планеты. Огромной мощности нужны моторы, чтобы обеспечить такие скорости. Большие и сложные радиотехнические задачи надо решить раньше, чем взяться за осуществление такого проекта.



Фиг. 41. Траектория тел, вылетающих с поверхности Земли с различными начальными скоростями.

Сегодня такой проект является лишь научной фантазией, но научные фантазии с развитием науки и техники часто превращаются в действительность. Несомненно, что развитие техники позволит осуществить проект искусственного спутника Земли. На примере идеи искусственного спутника Земли, высказанной К. Э. Циолковским, можно еще раз убедиться в исключительном значении для развития науки и техники таких идей, которые значительно опережают технические возможности своего времени и поэтому вначале кажутся фантастическими. Эти идеи приносят пользу науке, побуждая искать новые пути, направляя внимание ученых и исследователей на новые, еще не решенные проблемы.

Вот что говорил В. И. Ленин в заключительном слове на XI съезде партии о фантазии и ее роли: «Напрасно думают, что она нужна только поэту. Это глупый предрассудок. Даже в математике она нужна, даже открытие дифференциального и интегрального исчислений невозможно было бы без фантазии. Фантазия есть качество величайшей ценности»... [1].

---

[1] В. И. Ленин, Соч., т. 33, изд. 4-е, стр. 284.

Луна — источник радиоизлучения

Всякое тело, способное поглощать электромагнитные волны, вместе с тем и излучает эти волны, причем интенсивность излучения зависит от температуры тела — она тем больше, чем выше температура тела. Это так называемое температурное или тепловое излучение захватывает весь спектр электромагнитных волн, включая и радиоволны. Интенсивность его в разных областях спектра различна, и чем выше температура тела, тем короче та длина волны, на которую приходится максимум интенсивности излучения. Так, например, для тела, нагретого до 300° С, максимум излучения приходится на область инфракрасных волн, а для тела, нагретого до 1 000° С, этот максимум лежит уже в области видимых световых волн. Наряду с инфракрасными и видимыми волнами всякое тело излучает и радиоволны, но если температура тела невелика, то интенсивность этого излучения очень низка.

В частности, Луна как тело, имеющее очень невысокую температуру, должна давать очень слабое излучение в диапазоне радиоволн. Все же с помощью остронаправленной антенны, имеющей диаграмму направленности шириной около 0,5°, и чувствительного приемника удается наблюдать тепловое излучение Луны в диапазоне сантиметровых радиоволн. Измерения на волне 1,25 *см* показали, что Луна излучает на этой волне как тело, имеющее температуру в среднем около — 70° С (и зависящую от фазы Луны). Как уже упоминалось, оптические наблюдения показали, что температура Луны изменяется от +135°С до —160° С (в зависимости от того, освещена ли часть поверхности Луны, о которой идет речь, Солнцем или нет).

Такое расхождение между результатами измерений температуры Луны оптическими и радиотехническими методами в настоящее время нельзя еще объяснить с полной достоверностью. Наиболее правдоподобное объяснение состоит в том, что оптические методы измерений дают температуру самой поверхности Луны, в то время как на волне в 1,25 *см* излучение исходит из более глубоких ее слоев и поэтому характеризует температуру этих слоев, которые за лунный месяц не успевают так нагреваться и остывать, как поверхность Луны.

Итак, изучение Луны с помощью радиотехнических средств может уточнить сведения о движении Луны по ее орбите, дает сведения о температуре поверхностных слоев

Луны и тем самым позволяет получить дополнительные сведения об этих слоях. Это еще один пример того, как применение радиотехнических методов расширяет возможности исследований в астрономии.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ СОЛНЦА И ГАЛАКТИКИ

Солнце, солнечная система и Галактика

В солнечной системе планета Земля является таким же спутником Солнца, как Луна, — спутником Земли. У Солнца 9 спутников — планет. Ближе всех к Солнцу обращается по своей орбите Меркурий. Далее следуют Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун и Плутон. Некоторые из этих планет так же, как и Земля, имеют своих спутников. У Юпитера их, например, известно 12, у Сатурна — 9.

Меркурий почти в 3 раза ближе к Солнцу, а Плутон— в 40 раз дальше, чем Земля. Между орбитами Марса и Юпитера вокруг Солнца обращаются около 1 600 известных малых планет, называемых астероидами, а всего в солнечной системе, вероятно, более 50 тыс. астероидов. Кроме того, в систему входит около сотни известных периодических комет и около 50 метеорных потоков.

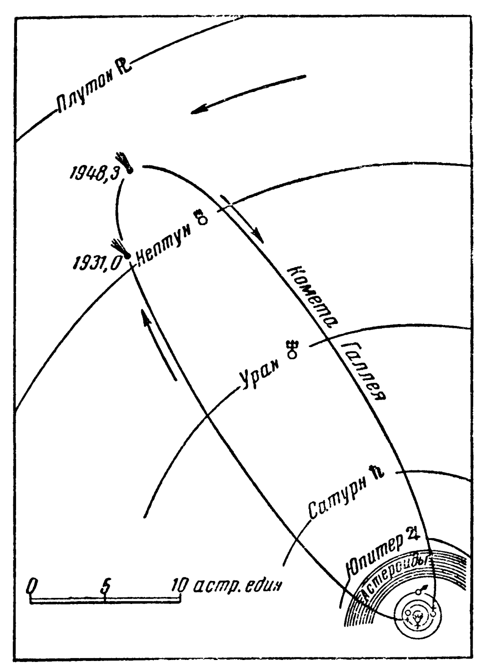
На фиг. 42 изображены орбиты планет солнечной системы, а относящиеся к ним астрономические обозначения даны на фиг. 43.

На фиг. 44 показаны сравнительные размеры планет и Солнца. Расстояния до планет и Солнца и другие данные о солнечной системе приведены в приложении 2.

Солнечная система и некоторые окружающие ее звезды образуют как бы звездное облако, получившее название *местной системы*. Это одно из многочисленных звездных облаков, входящих в гигантскую звездную систему, называемую *Млечным Путем* или *Галактикой*.

В нашей Галактике Солнце является таким же рядовым членом, каким, например, является Земля в солнечной системе. Для суждения о форме и размерах Галактики, а также месте, которое занимает в ней солнечная система, воспользуемся образным сравнением, которое дано в книге

«Общедоступная астрономия» И. Ф. Полака [Л. 2]. Для определения формы Галактики подошел бы футляр или корпус карманных часов, но только очень плоских, толщина которых примерно в 10 раз меньше их диаметра. Солнечная система находится внутри этого футляра, но не в центре, а примерно под тем местом, где в часах обычно крепится секундная стрелка. Даже если предположить, что все пространство внутри футляра заполнено звездами равномерно, то для наблюдателя, находящегося внутри солнечной системы, например на Земле, меньше всего звезд будет видно по направлениям вверх и вниз, т. е. к крышке и донышку нашего футляра. Наоборот, больше всего звезд будет наблюдаться вдоль ободка футляра. Это и есть Млечный Путь, который мы видим на небе. Не все участки Млечного Пути одинаково густо усеяны звездами. Больше всего их будет в направлении, где внутри футляра на циферблате часов помещалась бы цифра XII, если продолжать аналогию с футляром карманных часов, и меньше там, где располагается цифра VI.



Фиг. 42. Траектории тел солнечной системы (в масштабе).

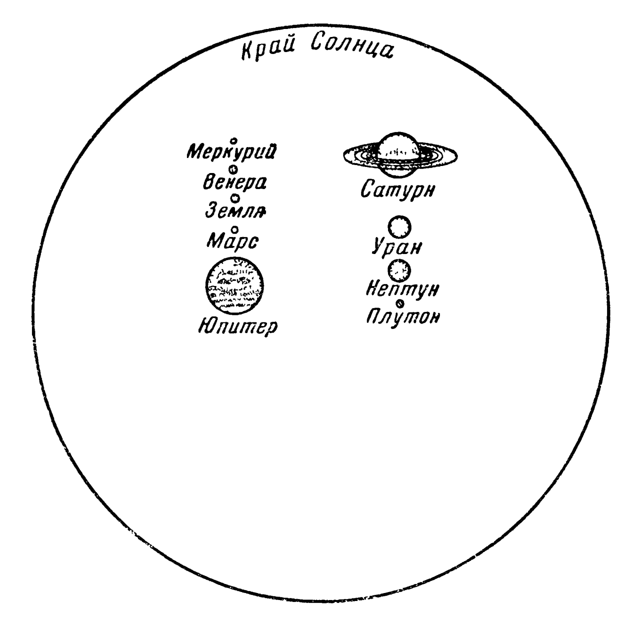
☉ *Солнце*
☿ *Меркурий*
♀ *Венера*
♁ *Земля*
♂ *Марс*
♃ *Юпитер*
♄ *Сатурн*
♅ *Уран*
♆ *Нептун*
♇ *Плутон*
☄ *комета*

Фиг. 43. Астрономические обозначения к фиг. 42.

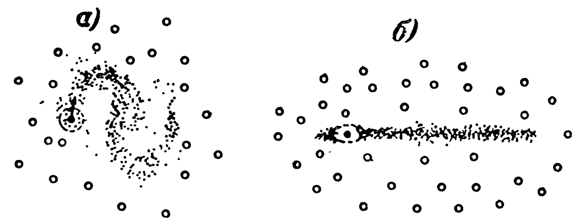
Наглядное представление о форме Галактики и месте в ней солнечной системы может дать фиг. 45, где в левой части (фиг. 45,*а*) показан вид сверху, а в правой части

(фиг. 45,*б*) — вид сбоку. Пунктирным кружком отмечено местоположение солнечной системы.

Галактика не имеет резко выраженных границ. Маленькие кружки вокруг Галактики, показанные на фиг. 45, пред-



Фиг. 44. Сравнительные размеры Солнца и планет.



Фиг. 45. Схематический вид нашей звездной системы — Галактики.
а — вид сверху; *б* — вид сбоку.

ставляют собой наиболее далекие от центра Галактики шаровые звездные скопления.

Расстояние от Земли до Солнца 149 450 000 *км*. Для измерения расстояний других планет до Солнца пользоваться километром в качестве единицы измерения уже неудобно, тем более это неудобно при определении размеров Галак-

тики или расстояний до далеких звезд. В астрономии поэтому употребляются другие более крупные единицы.

Расстояние от Земли до Солнца принято в качестве *астрономической единицы*. Еще более крупной единицей является *световой год* — это расстояние, которое проходит световой луч за один год, считая скорость распространения света 300 000 *км/сек*.



Фиг. 46. Спиральная туманность в созвездии Гончих Псов.

Существует еще более крупная единица, так называемый *парсек*, равный 3,26 световых года, расстояние, соответствующее параллаксу в 1 сек., при базисе, равном диаметру земной орбиты:

1 *парсек* = 3,26 светового года = 206 265 астрономических единиц = $3{,}083 \cdot 10^{13}$ *км*.

Диаметр нашей Галактики в этих единицах составит 30 000 *парсек*, или около 100 000 световых лет, или около $9 \cdot 10^{17}$ *км*.

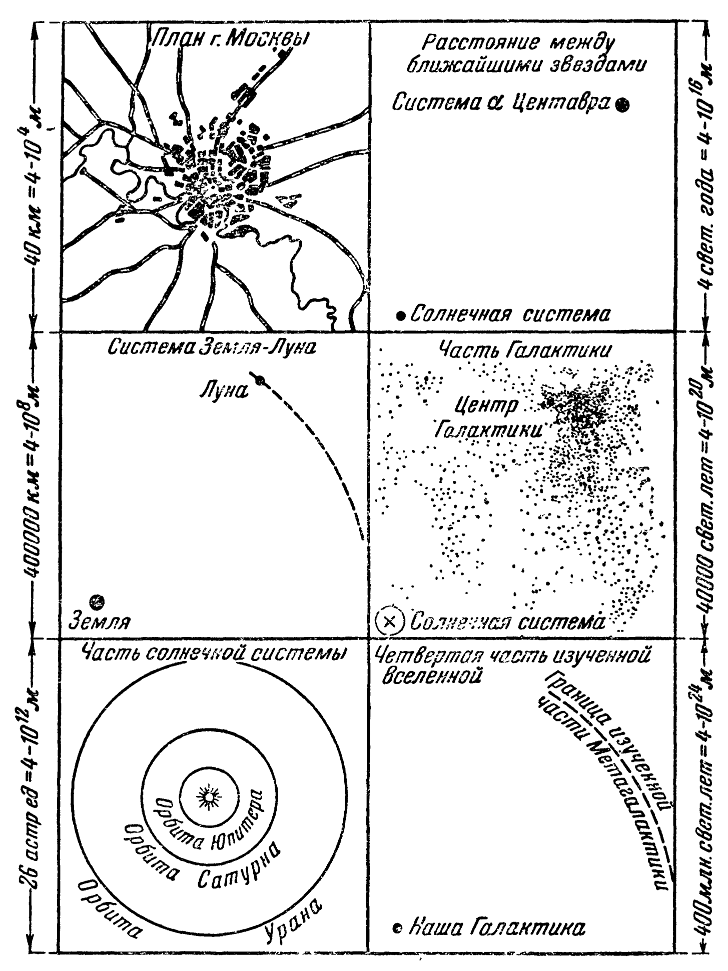
Солнечная система отстоит от центра Галактики на расстоянии около 23 000 световых лет, или 7 000 *парсек*.

Двигаясь со скоростью 250 *км* в секунду, солнечная система с окружающими ее звездами совершает полный оборот вокруг центра Галактики за 180 млн. лет.

Но наша звездная система — Галактика — это только одно из бесчисленных звездных скоплений, представляющих бесконечный мир — «Великую Вселенную».

Ближайшим к нам звездным скоплением является спиральная туманность в созвездии Андромеды, аналогичная нашей Галактике. Туманностью она называется потому, что даже в сравнительно светосильный телескоп она представляется в виде туманного пятна. Только сравнительно не-

давно, когда были построены громадные телескопы, удалось окончательно доказать, что такие туманности состоят из бесчисленного количества отдельных звезд, звездных скоп-



Фиг. 47. Изменение масштаба для изображения отдельных частей Вселенной.

лений и газовых облаков. Расстояние до туманности Андромеды составляет около 750 000 световых лет, ее диаметр около 45 000 световых лет, форма, так же как и у нашей Галактики, сплющенная — линзообразная.

Таких внегалактических туманностей, самостоятельных звездных систем, существует множество. Расстояние до наиболее далеких из них составляет свыше 500 млн. световых лет. На фиг. 46 показано фото одной из таких звездных систем (галактик) спиральной туманности в созвездии Гончих Псов.

Как наше Солнце есть рядовой член многомиллионной семьи звезд Млечного Пути—нашей Галактики, так и Млечный Путь является рядовой галактикой среди множества галактик Вселенной. Вся совокупность галактик получила название *метагалактики*. Некоторое представление о масштабах Вселенной может дать фиг. 47 [Л. 3].

Когда мы говорим о форме и размерах далеких звезд и галактик, полезно помнить, что наши знания об этом получены через посредство световых лучей, идущих от этих звезд, а им понадобился для этого громадный срок — часто много миллионов лет, чтобы дойти до нас. Мы, следовательно, «видим» звезду или туманность такой, какой она была много миллионов лет назад.

Пространство между планетами и звездами сильно разрежено, но не абсолютно пусто. В нем носятся метеорные тела, пылинки, молекулы, атомы и электроны.

Солнечная активность и ее проявления на Земле

Изучение бесконечного звездного мира основано на изучении отдельных звезд. Чем ближе к нам звезды, тем легче, пользуясь имеющимися в нашем распоряжении средствами, изучить их свойства, их природу. Самой близкой к нам звездой является Солнце и проявления его активности на Земле так многообразны и важны для нас, что, естественно, изучению Солнца ученые уделяют много внимания. Для нас Солнце — самое яркое светило, самое важное из всех других светил, ибо оно определяет жизнь на Земле. Сведения, которые дает нам Солнце и другие близкие звезды, помогают понять строение и природу бесконечного мира.

Солнце — раскаленное тело, излучающее потоки тепла и света, единственный источник энергии в солнечной системе. Размеры его по сравнению с Землей громадны. Его диаметр в 109 раз больше диаметра Земли. Его масса в 330 тыс. раз больше массы Земли. Объем Солнца в 1 330 000 раз больше объема земного шара. В Солнце сосредоточено почти все вещество солнечной системы. На долю всех планет вместе взятых приходится меньше 1/700 части солнечной массы.

Энергия, излучаемая Солнцем во все стороны мирового пространства в виде тепла и света, исключительно велика. Об этом можно судить по тому, как велика та часть ее, которая приходится на долю нашей Земли и которая составляет чрезвычайно малую часть всей энергии, излучаемой Солнцем. Даже, учитывая поглощение в земной атмосфере, каждый квадратный сантиметр поверхности Земли получает столько энергии, сколько требуется, чтобы нагреть за 1 мин. кубический сантиметр воды почти на 2°. Отсюда общее излучение Солнца по подсчетам составляет $5{,}43 \cdot 10^{27}$ калорий в минуту, а на долю Земли приходится едва одна двухмиллиардная часть этой энергии.

Человек использует солнечную энергию не только в виде тепла и света, но и в виде энергии воды и ветра, каменного угля и нефти, являющихся видами энергии, возникшими за счет солнечной энергии, попавшей когда-то на Землю.

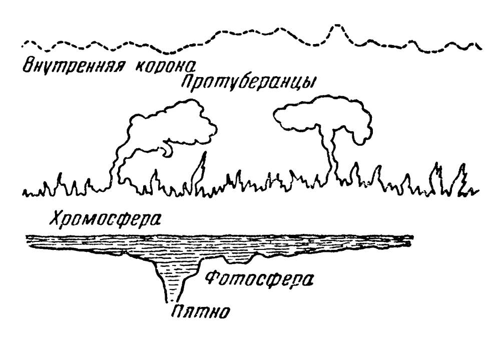
Тепловые лучи Солнца создают непрерывный круговорот воды в природе. Под действием солнечных лучей происходит таяние снегов, испаряется огромное количество воды с поверхностей морей и океанов. Образовавшийся пар, поднявшись в воздух, создает облака. Эти облака заносятся ветрами на материки и там выпадают в виде дождя и снега. Выпавшая на землю вода собирается в ручьи и реки, снова стекает в моря и океаны. Энергию движущейся воды называют «белым углем». Эта энергия используется в гидроэлектрических станциях. Огромен масштаб строительства гидроэлектрических станций в нашей стране. Сейчас сооружаются крупнейшие гидроэлектростанции: Куйбышевская, Сталинградская и многие другие.

Солнечные лучи нагревают поверхность земли. Поверхность земли в свою очередь отдает тепло воздуху. Нагретый воздух поднимается вверх, его место занимает более холодный. Так образуется движение воздушных масс — ветер. Энергию ветра называют «голубым углем». Масштабы его использования еще не так велики, как энергии воды, но и он поставлен в нашей стране на службу социалистического хозяйства. Во многих случаях ветер является самым дешевым и удобным источником энергии. Ветроэлектрические станции самых различных мощностей находят широкое применение в сельском хозяйстве для подачи воды, освещения, электрификации многих трудоемких работ.

Много миллионов лет назад растения, жившие на Земле, поглощали солнечную энергию. Эти растения росли и погибали, давали пищу и жизнь животному миру. В результате

сложных геологических и химических процессов из остатков растительного и животного мира в недрах земли образовались торф, каменный уголь, нефть — огромнейшие запасы солнечной энергии, широко используемые человеком.

Видимая поверхность Солнца, так называемая *фотосфера*, состоит из раскаленных ярко светящихся газов со средней температурой в 6 000° С. Чем глубже и ближе к центру Солнца, тем температура выше и по теоретическим расчетам в недрах Солнца она достигает 20 млн. градусов. В фотосфере часто можно заметить кажущиеся темными места, так называемые *пятна*. Непосредственно над фотосферой



Фиг. 48. Схема строения солнечной атмосферы.

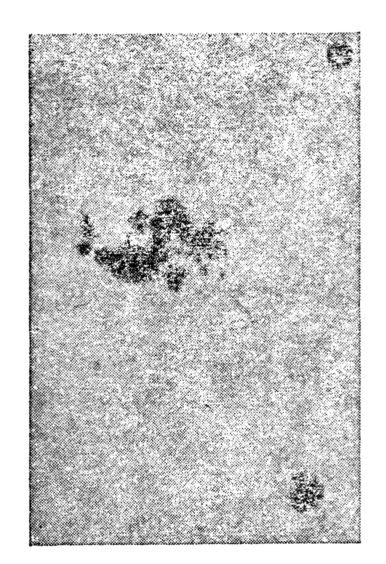
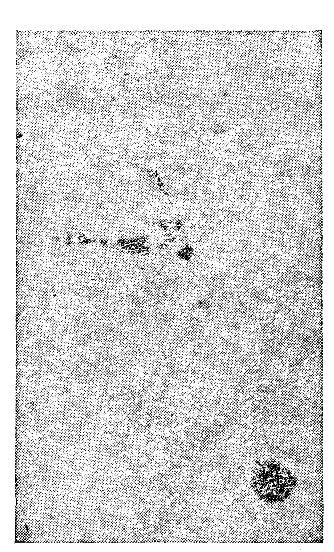
находится сравнительно тонкий слой (около 600 *км*) газа, называемый *обращающим слоем*, над ним выше — *хромосфера* толщиной около 10 000 *км*, еще выше *солнечная корона*, простирающаяся на 2 млн. километров от фотосферы. Схема строения солнечной атмосферы показана на фиг. 48. Из хромосферы непрерывно вырываются, как фонтаны, струи раскаленных газов, иногда приобретающие гигантские размеры. Такие выбросы называются *протуберанцами*.

Наблюдались выбросы, имевшие высоту около миллиона километров. Число протуберанцев меняется день ото дня. Особенно много их в годы, когда на Солнце появляется много пятен, т. е. в период высокой солнечной активности. Развившееся пятно имеет темную тень в середине (ядро), окруженное полутенью (фиг. 49). Размеры и форма солнечных пятен разнообразны. Иногда они больше диаметра Земли.

Часто пятна появляются на краю диска Солнца парами в виде едва заметных пор и, постепенно развиваясь, существуют от одного дня до нескольких месяцев. Пятна появ-

ляются по обе стороны от солнечного экватора в широтах до 35°. Часто в области пятен возникают сильные магнитные поля. Пара пятен представляет собой как бы концы гигантского подковообразного магнита, спрятанного под поверхностью Солнца.

Бывают годы, когда на Солнце в течение месяца не появляется ни одного пятна, такие периоды называются годами *минимума пятнообразовательной деятельности.* Затем посте-

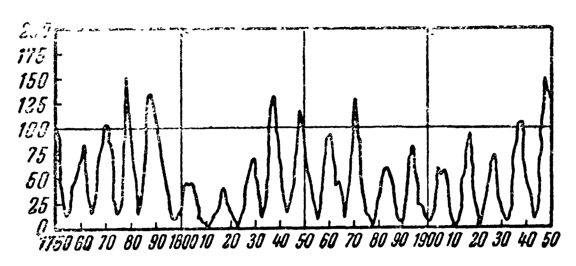
Фиг. 49. Участок солнечной поверхности с группой пятен. Изменение за одни сутки. Черный кружок внизу представляет в принятом масштабе размеры Земли.

пенно число пятен увеличивается и через 4—5 лет наступает период *максимума активности,* в последующие годы падая снова до минимума. Удалось проследить определенную периодичность процесса: оказалось, что между двумя минимумами или между двумя максимумами проходит в среднем 11 лет.

На фиг. 50 дана кривая солнечной активности за время с 1750 г. до 1950 г. По вертикальной оси в условных единицах отложена величина, характеризующая солнечную активность, определяемая числом и размерами пятен, появляющихся на поверхности Солнца. По кривой легко прослеживается одиннадцатилетний цикл. Советские астрономы обнаружили еще и вековую периодичность хода изменений

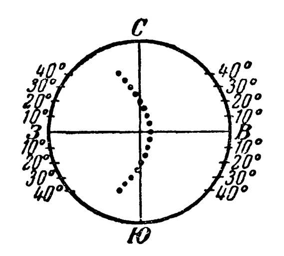
солнечной активности. Так, в XVIII в. максимальная активность Солнца пришлась на 1778 г., в XIX в. на 1870 г. и, наконец, в XX в. есть основание считать, что последний максимум 1947 г. является одновременно и вековым максимумом [Л. 26]. Периодичность векового цикла составляет от 80 до 90 лет (7—8 одиннадцатилетних циклов).

Наблюдение за движением солнечных пятен по поверхности Солнца позволило установить интересную особенность



Фиг. 50. Кривая солнечной активности за время с 1750 до 1950 г.

движения Солнца. Установлено, что Солнце вращается вокруг своей оси не как твердое тело. Различные участки его поверхности вращаются с разной скоростью. Быстрее всего вращение в экваториальной зоне. Точки экватора совершают полный оборот за 25,2 суток. На широте 30° время полного оборота составляет 26,3 суток, на широте 60°— 31 сутки, а вблизи полюсов — около 35 суток. Наглядное представление о зональном вращении Солнца может дать фиг. 51. За одно и то же время пятна на солнечном диске на разных широтах уйдут на разное расстояние — больше всего в экваториальной зоне.

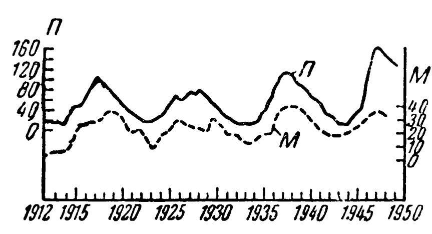


Фиг. 51. Перемещения солнечных пятен в разных зонах.

Кроме наиболее заметных образований на поверхности Солнца — пятен, различают еще факелы и гранулы. *Гранулы* — весьма нестойкие световые образования овальной формы, на 100—200° С более горячие, чем окружающая фотосфера, размерами в несколько сот километров, покрывают всю фотосферу как бы непрерывно кипящей массой. Поверхность фотосферы благодаря этим гранулам имеет зернистое строение. Гранулы непрерывно возникают и рас-

падаются, существуя каждая лишь несколько минут. *Факелы* особо хорошо заметны у краев солнечного диска. Они располагаются вокруг пятен и имеют несколько бóльшую высоту, чем гранулы.

Солнечная активность проявляется в целом ряде явлений на Земле: магнитные возмущения и бури, приводящие к хаотическим колебаниям магнитных стрелок компасов, изменения степени ионизации ионосферы, приводящие к изменениям условий распространения радиоволн, и их отражения от ионосферы, полярные сияния и т. д. Исключительное значение, которое имеют в практической деятельности земные проявления солнечной активности, особенно для нужд радиосвязи, привело к организации специальных служб, так называемых служб Солнца. Сопоставляя наблюдения за солнечной активностью с данными магнитных обсерваторий и ионосферных станций, службы Солнца разрабатывают прогнозы «радиопогоды», необходимые для правильной работы магистральных линий радиосвязи.



Фиг. 52. Солнечная активность (кривая *П*) и число магнитных бурь (кривая *М*).

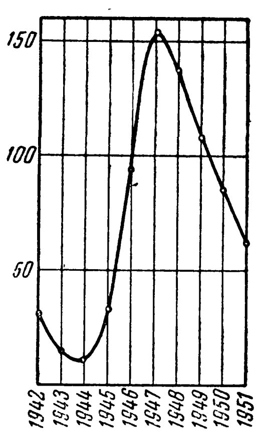
На фиг. 52 приведены ход изменения солнечной активности (кривая *П*) и ход изменения числа наблюдаемых за год магнитных бурь (кривая *М*).

Как уже говорилось, в периоды максимумов солнечных пятен особенно часты и мощны выбросы в хромосфере — протуберанцы. Было установлено, что при появлении ярких хромосферных вспышек возникают нарушения работы линий радиосвязи на Земле на освещенной Солнцем части земного шара. Через сутки после особенно ярких вспышек на Земле возникают магнитные бури, наблюдаются северные сияния и вновь отмечаются нарушения в работе радиосвязи.

Хромосферные вспышки связаны с усилением ультрафиолетовой радиации Солнца и рядом других явлений. Среди них для нас особенно интересно увеличение интенсивности радиоизлучения Солнца, о чем мы расскажем ниже. Над изучением хромосферных вспышек и определением их природы работает большая группа советских астрономов и радиофизиков.

Опишем некоторые особенности последнего цикла солнечной активности за период 1944—1951 гг.

На фиг. 53 показана кривая солнечной активности за этот период. Последний цикл характеризуется рядом особенностей, к которым относятся: необычайно раннее (уже с сентября 1945 г.), весьма резкое возрастание числа и площади пятен после минимума 1944 г. В этот период отмечается появление рекордных по своим размерам групп пятен. В год максимума (1947 г.) суточное относительное число пятен в отдельные дни выше 300, почему и среднегодичное число пятен (151,3) почти сравнимо с его значением в 1788 г. (154,4), наибольшим за последние 200 лет. В 1948 г. хотя и начался спад, который продолжался в 1949 г., однако он был сравнительно медленный. Столь высокий и устойчивый уровень в продолжение трех лет подряд не имел места за весь двухсотлетний период. В 1949 г. не было ни одного дня с полным отсутствием пятен.



Фиг. 53. Солнечная активность с 1942 по 1951 г.

В это же время были зарегистрированы необычайно резкие вспышки солнечной активности, например, с 11 по 15 августа 1949 г., когда относительное число пятен возросло с 24 до 157 *.

Даже в 1950 и 1951 гг. средняя активность была еще очень высока, и в отдельные дни относительные числа, характеризующие ее, достигали больших значений.

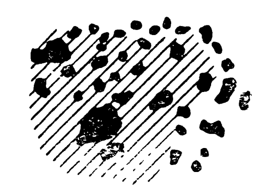
17 января 1949 г. на восточном краю солнечного диска появилась группа пятен, сопровождавшихся яркими факелами. Эта группа прошла центральный меридиан Солнца между 23 и 25 января. С 24 по 26 января наблюдалось грандиозное полярное сияние, которое было зарегистрировано в Мурманске, Полярном, Калининграде, Тарту. Один из наблюдателей в Мурманске (Ю. Н. Хлюстов) так описывает его: ...«Я был свидетелем грандиозного северного сияния, которое словно яркая корона с великолепными серебряными лучами охватило все небо. Его особенностью было

* А. П. Моисеев, Солнечная активность в 1949 г., „Природа", 1950, № 5, стр. 36.

то, что в сиянии была выделена небольшая часть (сектор) в 45°, окрашенная в огненно-красный цвет. Этот сектор описывал круги по небу в направлении движения часовой стрелки. В остальной части неба сияние имело желто-зеленый цвет, переходящий по мере поднятия над горизонтом в бело-голубой»... [1].

Случай особо интенсивной магнитной бури, имевший место 18—19 октября 1948 г., описывает Л. Н. Федорова [2]. Буря была вызвана группой пятен, проходивших центральный меридиан Солнца 16—17 октября. Эта мощная группа существовала и развивалась в течение 7 оборотов Солнца. В предыдущих оборотах она не вызывала магнитных возмущений.

В последнем обороте она достигла максимальной площади (1 630 миллионных долей площади диска Солнца) и начала распадаться. Число пятен в ней доходило до 42. На **фиг. 54 эта** группа показана в день ее прохождения через центральный меридиан. Магнитная буря началась 18 октября в 1 час 09 мин. московского времени резким увеличением горизонтальной и вертикальной составляющих магнитного поля Земли и продолжалась до 23 час. 19 октября.



Фиг. 54. Группа пятен, проходивших центральный меридиан Солнца 16—17 октября 1948 г. и вызвавших 18 — 19 октября сильную магнитную бурю на Земле.

В периоды высокой солнечной активности наряду со случаями нарушения радиосвязи на коротких волнах отмечаются также случаи резкого увеличения дальности действия радиостанций на волнах метрового диапазона.

В 1950—1952 гг. были зарегистрированы случаи сверхдальнего приема ультракоротковолнового вещания и телевидения. Так, например, в 1950 г. (27 июня) передача Московского телевизионного центра была принята радиолюбителем в Бельгии. В 1952 г. (30 мая — 1 июля) было зарегистрировано несколько случаев приема Московского и других телевизионных центров на очень больших для этого диапазона волн расстояниях от передатчиков.

Полное объяснение такому сверхдальнему приему на ультракоротких волнах в настоящее время еще не дано.

---

[1] А. И. Бахарев, Грандиозное полярное сияние, „Природа“, 1950, № 2, стр. 30.

[2] Л. Н. Федорова, О максимуме магнитной активности, „Природа“, 1950, № 3, стр. 54.

Высказываются предположения, что такие случаи связаны с повышенной ионизацией атмосферы Земли в результате резкого увеличения солнечной активности. Аналогичные случаи сверхдальнего приема в 5—6-*м* диапазоне были отмечены и во время прошлого цикла солнечной активности (1937—1939), когда удавалось иногда установить связь на волне в 5 *м* на расстоянии свыше 1 000 *км*[1].

Таковы в общих чертах проявления солнечной активности на Земле.

Радиоизлучение Солнца

До недавнего прошлого все сведения, которыми располагала наука о природе небесных тел, были получены путем оптических наблюдений, т. е. с помощью световых волн, приходящих к нам от этих тел. Положение существенно изменилось после того, как было обнаружено радиоизлучение внеземного происхождения, иногда называемое *космическими радиошумами*.

Впервые такое излучение было обнаружено в тридцатых годах текущего века при исследовании атмосферных помех в диапазоне коротких волн (14,7 *м*). Однако только с освоением диапазонов более коротких волн, а также созданием высокочувствительной приемной аппаратуры и остронаправленных антенн в последние 5—10 лет изучение космического радиоизлучения сильно продвинулось вперед.

Наблюдать радиоизлучение внеземного происхождения можно только на волнах короче 15—20 *м*, так как на более длинных волнах сказывается экранирующее действие ионосферы, отражающей более длинные волны. Было установлено, что Солнце является источником радиоизлучения в диапазоне от длинных метровых вплоть до самых коротких дециметровых и сантиметровых волн. Исходя из теоретических соображений, советские ученые В. Л. Гинзбург и И. С. Шкловский показали, что сантиметровые волны должны излучаться главным образом хромосферой, а метровые — солнечной короной.

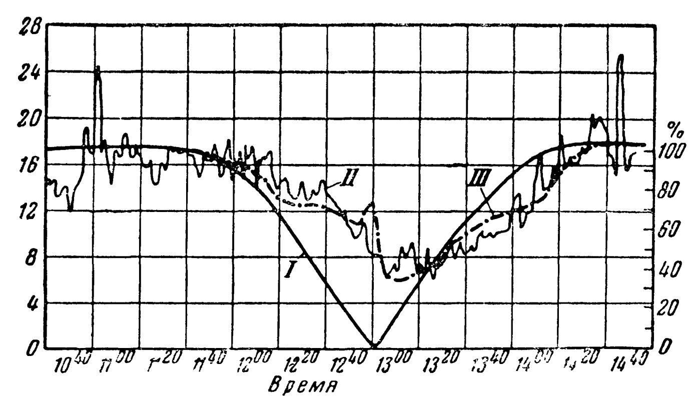
Для выяснения этого вопроса советскими физиками и астрономами были предприняты наблюдения радиоизлучения Солнца во время полных солнечных затмений. По предложению акад. Н. Д. Папалекси была организована экспедиция в Бразилию на теплоходе «Грибоедов» для наблю-

[1] Б. А. Введенский и А. Г. Аренберг, Распространение УКВ, Связьиздат, 1938, стр. 279.

дения солнечного затмения 20 мая 1947 г. Эта экспедиция под руководством проф. С. Э. Хайкина провела во время затмения наблюдения за интенсивностью радиоизлучения Солнца на волне 1,5 *м*.

На фиг. 55 кривая *I* показывает уменьшение площади диска Солнца, закрываемого Луной. Кривая *II* в том же масштабе времени дает изменение интенсивности радиоизлучения.

Из сопоставления этих кривых видно, что в то время, когда солнечный диск полностью закрыт Луной, интенсивность излучения падает не до нуля, а только на 60%. Это



Фиг. 55. Интенсивность радиоизлучения Солнца во время полного солнечного затмения 20 мая 1947 г.

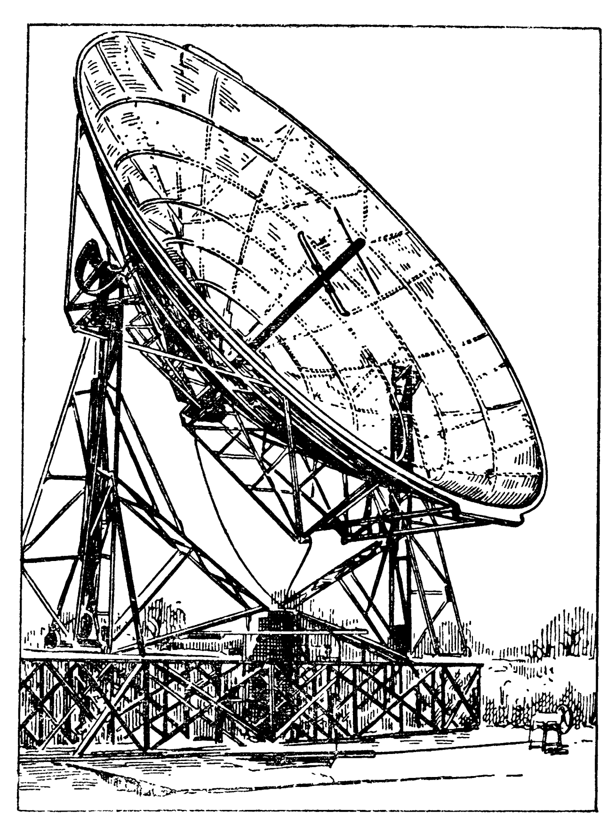
I — закрытая часть видимого диска Солнца (ход оптического затмения); *II* — изменение интенсивности радиоизлучения; *III* — ход „затмения" протуберанцев и волокон.

доказывает, что радиоизлучение на волне 1,5 *м* исходит из сравнительно высоких слоев солнечной короны. Кривая *III* (штрих с точкой), которая дает ход затмения для протуберанцев и волокон, хорошо совпадает с кривой изменения интенсивности радиоизлучения [1].

Аппаратура, которой пользуются для исследования космических радиоизлучений, получила название радиотелескопов. *Радиотелескоп* в основном состоит из остронаправленной антенны, высокочувствительного радиоприемника с малым уровнем собственных шумов и регистрирующего устройства для автоматической записи интенсивности радиоиз-

[1] С. Э. Хайкин и Б. М. Чихачев, Исследование радиоизлучения Солнца во время полного солнечного затмения 20 мая 1947 г., Известия АН СССР, серия физ., т. XII, № 2, 1948, стр. 38.

лучения. Антенна радиотелескопа представляет собой либо синфазную антенну из большого числа диполей, либо параболическое «зеркало», в фокусе которого размещены диполи или другие типы специальных приемных антенн.

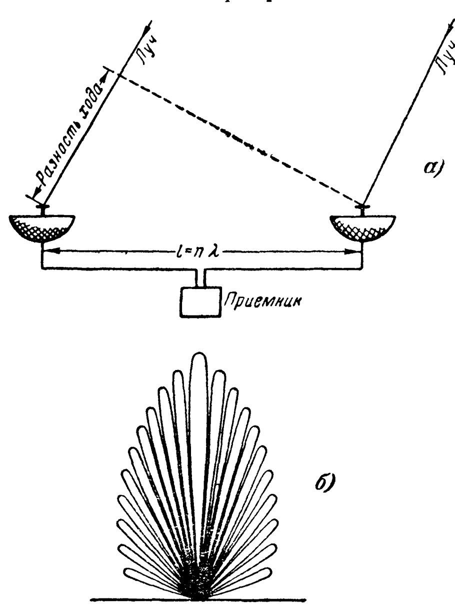


Фиг. 56. Антенна радиотелескопа диаметром 7,5 *м*.

На фиг. 56 изображен параболический рефлектор одного из радиотелескопов на так называемой параллактической установке (т. е. установке, ось которой параллельна земной оси), позволяющей автоматически сопровождать Солнце при его движении по небу.

Для обнаружения слабых источников радиоизлучения требуется большая чувствительность радиотелескопов. Для определения координат этих источников аппаратура должна обладать большой разрешающей способностью.

Под разрешающей способностью понимается тот наименьший угол между двумя источниками, при котором еще возможно раздельное наблюдение каждого из них. Разрешающая способность обычных оптических телескопов весьма высока и намного больше, чем у радиотелескопов. Это объясняется тем, что разрешающая способность прибора зависит от соотношения между диаметром прибора и длиной волны. Поскольку радиоволны гораздо длиннее оптических, разрешающая способность радиотелескопов при одинаковых размерах оказывается гораздо меньше оптических.



Фиг. 57. Радиоинтерферометр.

а — схема радиоинтерферометра; *б* — многолепестковая диаграмма направленности радиоинтерферометра.

Так, например, если поперечник рефлектора в 80 раз больше длины волны и угол раствора антенны равен 1°, то разрешающая способность такого радиотелескопа тоже порядка 1°; но для получения угла раствора в 1° уже на волне 10 *см* рефлектор должен иметь диаметр порядка 8 *м*, а на волне в 1 *м* диаметр рефлектора должен быть равен 80 *м*, т. е. представляет огромное сооружение.

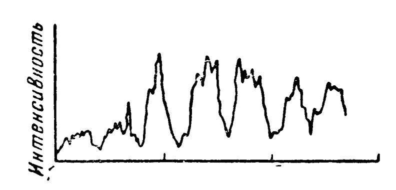
Используя методы, принятые в оптике, в частности интерференционные методы, были построены особые радиотелескопы, получившие название радиоинтерферометров, разрешающая способность которых увеличивается до десятка угловых минут.

Радиоинтерферометр состоит обычно из двух одинаковых антенн, разнесенных друг от друга на расстояние во много длин волн (до 100 и более). Обе антенны питают вход одного радиоприемника.

При косом падении луча от источника излучения (фиг. 57,*а*) волны попадают в антенны, проходя разные пути от источника. Эта разность путей или разность хода

лучей создает сдвиг фаз напряжений, подведенных к приемнику от обеих антенн. В зависимости от разности хода напряжения могут оказаться в фазе (когда разность хода равна целому числу длин волн), тогда напряжения складываются, в других случаях (когда разность хода равна нечетному числу полуволн) — в противофазе и тогда они вычитаются, взаимно компенсируя друг друга. В результате диаграмма направленности антенной системы получается в виде большого числа узких лепестков с острыми минимумами между ними.

Показанная на фиг. 57,*б* диаграмма относится к системе антенн, разнесенных друг от друга на расстояние около 15 длин волн. Чем на большее число длин волн разнесены антенны, тем больше лепестков имеет диаграмма и тем меньше угловые размеры лепестков. Если угловые размеры источника излучения меньше раствора лепестка, то при вращении Земли вследствие изменения направления на источник радиоизлучения напряжение на выходе приемника периодически меняется (как бы модулируется). Характер записи напряжения на выходе приемника показан на фиг. 58.



Фиг. 58. Запись радиоизлучения Солнца на интерферометре ($\lambda = 1{,}7$ *м*) при прохождении группы пятен.

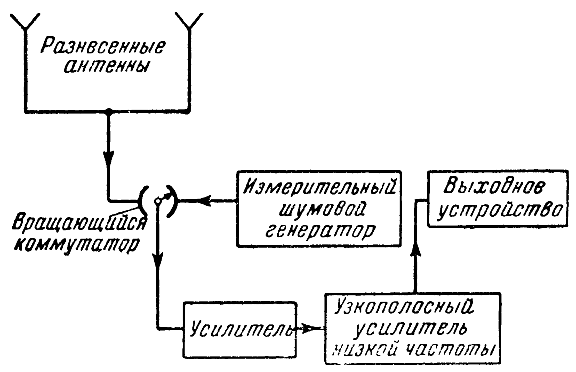
Зная время прохождения источника излучения через тот или другой лепесток, можно определить положение источника.

Радиоизлучение космических источников имеет сплошной спектр, т. е. носит характер шума (поэтому его и называют часто космическими радиошумами).

Для измерения мощности принятых шумов применяются различные специальные устройства; скелетная схема одного из них показана на фиг. 59. Коммутатор, вращающийся электродвигателем, периодически присоединяет приемное устройство то к антенне, то к специальному измерительному шумовому генератору, т. е. генератору, дающему колебания не одной частоты, а сплошной спектр частот с известной интенсивностью.

К выходу приемника присоединен узкополосный усилитель, настроенный на частоту переключения антенны, помогающий выделить принимаемое космическое излучение и сигналы измерительного генератора из собственных шумов при-

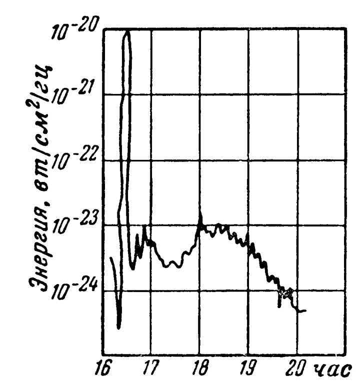
емника. Выходное устройство позволяет сравнивать интенсивность принимаемого излучения с сигналами шумового генератора и тем самым определять интенсивность радиоизлучения.



Фиг. 59. Скелетная схема приемной части радиоинтерферометра для измерения радиошумов малой мощности.

Различают несколько видов радиоизлучения Солнца:

1. Излучение спокойного Солнца, т. е. во время отсутствия на нем пятен. Такое излучение имеет только незначительные суточные изменения интенсивности.



Фиг. 60. Рост интенсивности радиоизлучения Солнца на $\lambda = 4{,}2$ *м* во время всплеска.

2. Увеличенное излучение во время прохождения по Солнцу групп пятен. Такое излучение дает непрерывное изменение интенсивности.

3. Мощные всплески излучения, которые происходят, как правило, одновременно с сильными извержениями на Солнце.

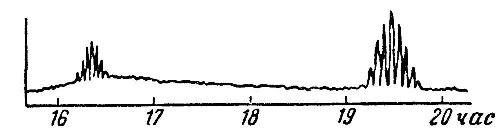
На фиг. 60 показана запись необычно интенсивного радиоизлучения Солнца на волне 4,2 *м*, имевшее место 25 июля 1946 г. и связанное с очень большим извержением на Солнце. Такие мощные всплески радиоизлучения обнаруживаются не только с помощью радиоинтерферометров, но и обычными приемниками в виде характерного шума. Как видно из фиг. 60, максимум этого

радиоизлучения в 10 000 раз (по энергии) превосходит энергию радиоизлучения Солнца в обычные дни.

В отличие от радиоизлучения Солнца в метровом диапазоне излучения в сантиметровом диапазоне более стабильны. Но и на сантиметровых волнах интенсивность радиоизлучения следует за изменениями площади и числа пятен. Тесная связь между интенсивностью радиоизлучения и солнечной активностью может быть использована для определения активности Солнца по его радиоизлучению в дни, когда Солнце скрыто от нас облаками.

Точечные источники радиоизлучения

Солнце не является единственным источником космического радиоизлучения. Как уже упоминалось, радиоизлучение космического происхождения было обнаружено при исследовании атмосферных радиопомех на волне 14,7 *м*.



Фиг. 61. Изменение интенсивности на выходе радиоинтерферометра.

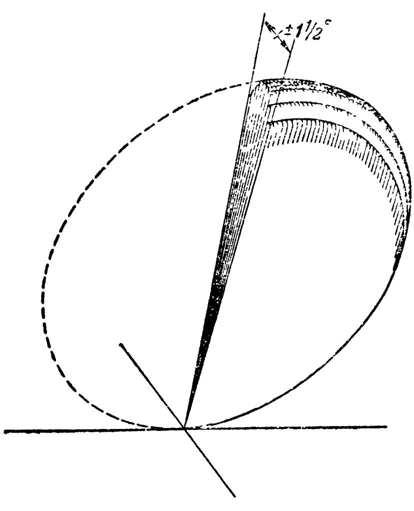
В 16 ч. 20 м. излучение из созвездия Лебедя и в 19 ч. 30 м. из созвездия Кассиопеи.

Было установлено, что при непрерывной (в течение нескольких суток) записи радиопомех, действующих на неподвижную направленную антенну, наблюдается максимум, который каждый день начинается примерно на 4 мин. раньше, чем в предыдущий. Это обстоятельство означало, что источники обнаруженных шумов связаны с звездами. Удалось показать, что излучение это исходит из Галактики и что в разных направлениях интенсивность его различна, а максимум этого излучения лежит примерно в центре Галактики.

Позднее, когда начались наблюдения космического радиоизлучения на метровых волнах, наряду с излучением Галактики («галактическим шумом») были обнаружены отдельные источники радиоизлучения — один в созвездии Лебедя, потом еще более мощный в созвездии Кассиопеи, а затем еще большое число таких отдельных источников радиоизлучения.

На фиг. 61 показаны записи интенсивностей радиоизлучения этих двух наиболее мощных источников (в Лебеде и

Кассиопее), полученные с помощью радиоинтерферометра на волне 1,7 *м*. Каждая из антенн этого радиоинтерферометра состоит из большого числа диполей. Антенны разнесены друг от друга на большое расстояние. Каждая из антенн обладает сравнительно острой диаграммой (около 1,5°), а вместе они дают большое число лепестков с очень малым углом раствора.

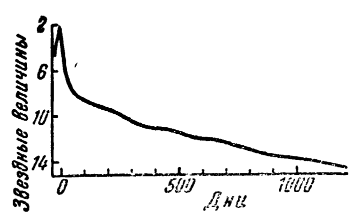


Фиг. 62. Пространственная многолепестковая диаграмма направленности радиоинтерферометра.

Пространственная диаграмма направленности этой антенной системы показана на фиг. 62.

В настоящее время зарегистрировано уже более двухсот отдельных точечных источников радиоизлучения разной мощности.

В ряде случаев с помощью мощных оптических телескопов удалось отожествить эти отдельные источники радиоизлучения с оптически наблюдаемыми туманностями. Поэтому советский астроном И. С. Шкловский предложил назвать такие точечные источники радиоизлучения «радиотуманностями» [Л. 29].



Фиг. 63. Кривая изменения блеска „новой“ звезды.

Отдельные источники космического радиоизлучения в некоторых случаях удалось отожествить с так называемыми «новыми» и «сверхновыми» звездами. «Новыми» астрономы называют звезды, которые иногда в течение нескольких дней вдруг увеличивают свой блеск во много раз (иногда до 10 000 и более раз). «Сверхновые» звёзды дают в максимуме блеск еще больший. После «вспышки» радиус звезды увеличивается в 100 и более раз. По расчетам астрономов ежегодно в Галактике происходит не менее 200 таких вспышек [Л. 4].

Теперь можно считать установленным, что наиболее мощные из радиотуманностей это остатки «новых» и «сверхновых» звезд. Так, например, советские астрономы П. П. Паренаго и И. С. Шкловский отожествили радиотуманность в Кассиопее с так называемой «Новой 369», замеченной в 369 г. нашей эры. Вспышка этой новой звезды наблюдалась независимо китайскими и византийскими астрономами.

Радиоастрономия находится еще только в самом начале своего развития. Несомненно, однако, что усовершенствование радиоаппатуры и методов радиоастрономических наблюдений будет способствовать расширению наших знаний о строении Вселенной. Советские ученые, вооруженные единственно правильной научной философией диалектического материализма, успешно разрабатывают наиболее важные и трудные проблемы происхождения Вселенной. Развитие радиоастрономии будет способствовать разрешению этих проблем.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ В АСТРОНОМИИ

Назначение фотоэлемента в астрономии

Применение фотоэлементов в астрономии началось вскоре после их изобретения. Главная задача, которая была поставлена астрономами перед фотоэлементом,— это замена глаза наблюдателя с целью избавления от ошибок, присущих человеческому глазу, и создания объективных методов измерения световых потоков от небесных тел. Самым важным качеством фотоэлемента, определившим интерес астрономов к нему, является строгая пропорциональность фотоэлектрического эффекта величине падающего на него светового потока.

Первые применения фотоэлемента в астрономии относятся к измерениям больших световых потоков Солнца, солнечной атмосферы и Луны. По мере разработки высокочувствительных фотоэлементов и специальных измерительных схем удалось расширить область использования фотоэлектрических устройств, применив их для измерения слабых и слабейших потоков от далеких звезд. В астрономии родилась новая отрасль — фотоэлектрическая фотометрия, намного повысившая точность и надежность астрономических наблюдений.

С помощью фотоэлемента изучалась отражающая способность лунной поверхности (так называемое альбедо Луны), определена абсолютная яркость Солнца. Широкое применение электрофотометрия получила во время солнечных и лунных затмений для исследования, например, блеска короны Солнца. Изучаются также блеск планет, спутников, астероидов и комет, светимость ночного неба и зодиакального света. Наибольшее число исследований с помощью электрофотометров и фотоэлектрических спектрографов произведено при изучении звезд.

Помимо измерения световых потоков фотоэлемент в астрономии нашел применение для регистрации звездных прохождений через меридиан, о чем мы упоминали уже в гл. 1, а также для автоматического управления движением, так называемого гидирования астрономических инструментов во время длительных процессов фотографирования звездного неба.

На трех примерах использования фотоэлементов в астрономии — электрофотометрии, регистрации звездных прохождений и автоматического гидирования инструментов — мы остановимся несколько подробнее. Однако прежде всего необходимо, хотя бы кратко, ознакомиться с природой фотоэлектрического эффекта и устройством фотоэлементов.

Природа фотоэффекта

Явление фотоэлектрического эффекта было открыто русским ученым А. Г. Столетовым в 1888 г. Он обнаружил, что под действием света, падающего на поверхности многих тел, из этих поверхностей вырываются электроны, причем количество вырванных электронов пропорционально интенсивности падающего света. Это явление получило название *внешнего фотоэффекта.*

Вылет электрона из металла при фотоэффекте происходит за счет энергии падающего на поверхность металла света. Падающий свет сообщает электрону энергию, необходимую для того, чтобы он совершил так называемую *работу выхода* из данного металла. Под работой выхода понимается работа, которую должен совершить электрон для преодоления силы притяжения со стороны положительных ионов металла, чтобы вылететь с поверхности металла.

Энергия света по современным воззрениям состоит из отдельных порций квантов света или фотонов. Энергия, которой обладает отдельный фотон, зависит от длины свето-

вой волны (или частоты) и уменьшается с увеличением длины волны (растет с частотой). Таким образом, энергия фотонов увеличивается при переходе от красного к фиолетовому участку спектра света.

Каждый фотон может вырвать из поверхности металла один электрон. Это определяет основную характеристику фотоэлемента: пропорциональность числа фотоэлектронов интенсивности падающего на фоточувствительную поверхность фотоэлемента света, т. е. числу падающих фотонов. Если фотон обладает большей энергией, чем работа выхода электрона для данного металла, то избыток энергии идет на увеличение скорости (кинетической энергии) вылетевшего электрона.

Если энергия фотона меньше работы выхода электрона для данного металла, то он не сможет вырвать электрон из поверхности металла и фотоэффект отсутствует. То обстоятельство, что энергия фотона уменьшается к красной части спектра (с уменьшением частоты), определяет для каждого металла границу, при которой фотоэффект уже невозможен. Эта граница получила название *порога фотоэффекта* или «красной границы».

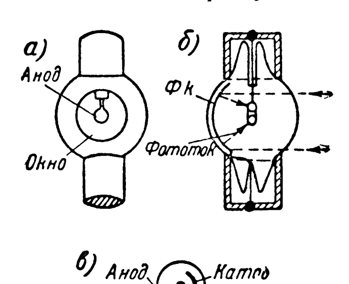
Каждому металлу свойственна своя красная граница, зависящая от работы выхода для данного металла. Это определяет различную чувствительность фотоэлемента к разным спектральным лучам и характеризуется его спектральной чувствительностью. По сравнению с другими металлами щелочные металлы (калий, литий, цезий и пр.) обладают меньшей работой выхода электронов, и граница фотоэффекта у таких фотоэлементов лежит в области наиболее длинных волн.

Примерно в то же время, когда Столетов занимался изучением внешнего фотоэффекта, другой русский ученый, профессор Казанского университета В. А. Ульянин, обнаружил, что при освещении поверхности соприкосновения металла с полупроводником, например селена, покрытого тонкой, прозрачной для света пленкой металла, в цепи, в которую включено это устройство, появляется ток. Это явление получило название *внутреннего фотоэффекта.*

Устройство фотоэлементов

Используя открытые Столетовым и Ульяниным явления внешнего и внутреннего фотоэффекта, техника создала много типов различных фотоэлементов — приборов, служащих для преобразования света в электрический ток.

Общий вид фотоэлемента, основанного на внешнем фотоэффекте, показан на фиг. 64. Такой фотоэлемент состоит из стеклянной колбы, из которой откачан воздух (так называемые *вакуумные фотоэлементы*). Внутренняя поверхность колбы покрыта слоем светочувствительного материала и является источником электронов — фотокатодом (*Ф. к.*). В передней стенке колбы часть ее поверхности, не покрытая фоточувствительным слоем, служит окошком, сквозь которое свободно проходят лучи света внутрь фотоэлемента. В центре колбы на ножке укреплено металлическое кольцо — анод, к которому подводится положительное напряжение. Электроны, вылетевшие из поверхности фотокатода под действием упавшего на него света, притягиваются электрическим полем анода и создают *фототок* внутри фотоэлемента и электрический ток в цепи, в которую включен фотоэлемент.



Фиг. 64. Вакуумный фотоэлемент с внешним фотоэффектом.

а — общий вид; *б* — устройство; *в* — условное обозначение на электрических схемах.

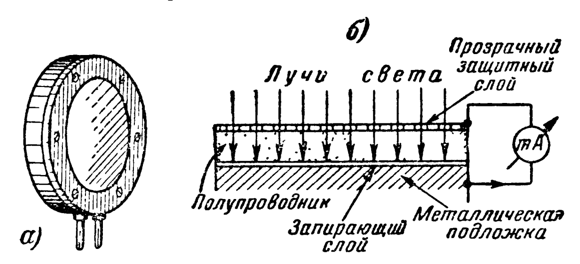
Фотокатод фотоэлемента состоит из тонкой пленки серебра, нанесенной на внутреннюю поверхность колбы (так называемая подложка), на которую в свою очередь нанесена тончайшая пленка, например, щелочного металла калия, натрия или др. С целью повышения чувствительности фотоэлемента современные фотокатоды делают более сложными, состоящими из нескольких слоев: на пленку серебра наносится окись щелочного металла, например окись цезия, а на нее — одноатомный слой чистого цезия. Такие фотоэлементы известны под названием кислородно-цезиевых. В последнее время наибольшее распространение получили сурьмяно-цезиевые фотоэлементы с катодом, содержащим сурьму и цезий.

Внешний вид и устройство фотоэлемента, основанного на внутреннем фотоэффекте, показаны на фиг. 65. Такие фотоэлементы получили название *вентильных* или фотоэлементов с запирающим слоем. По своему устройству они напоминают полупроводниковые выпрямители — селеновые и купроксные. На толстую металлическую пластинку наносят тонкий (10^{-5}—10^{-6} *см*), прозрачный для света слой полупро-

водника, сверх которого накладывается металлическая сетка или тонкий слой металла для создания контакта — вывода от слоя полупроводника.

Купроксные фотоэлементы представляют собой слой окиси меди на медной пластинке. Большей чувствительностью, чем купроксные, обладают селеновые фотоэлементы и особенно большой — серно-серебряные и серно-таллиевые фотоэлементы.

Хотя вентильные фотоэлементы проще по своей конструкции, а также в эксплуатации, так как не требуют посторонних источников напряжения, в астрономии для измерения



Фиг. 65. Фотоэлемент с внутренним фотоэффектом.
а — общий вид; *б* — схема устройства.

слабых световых потоков применяются главным образом фотоэлементы с внешним фотоэффектом, преимущественно вакуумные, которые отличаются большим постоянством чувствительности и безинерционностью.

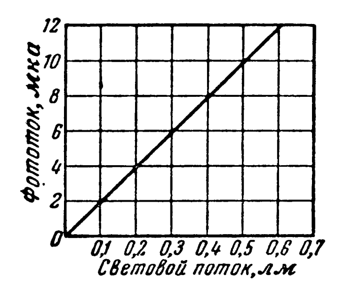
Основные характеристики фотоэлементов

Зависимость фототока от интенсивности светового потока для вакуумного фотоэлемента показана на фиг. 66. По горизонтальной оси отложен световой поток в единицах светового потока — люменах, а по вертикальной оси — фототок в микроамперах.

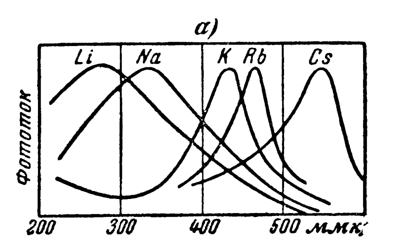
Наряду с вакуумными применяются и газонаполненные фотоэлементы. У этих последних в баллон, после того как из него откачан воздух, вводится под очень небольшим давлением (0,001—0,01 *мм* рт. ст.) какой-нибудь инертный газ.

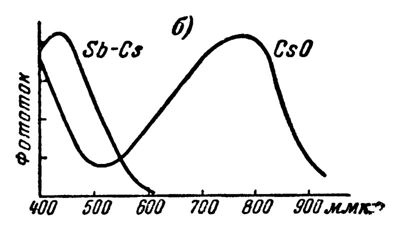
Вырванные под действием света электроны устремляются к аноду с большой скоростью. Встретив на своем пути молекулы газа, они сталкиваются с ними и ионизируют их, выбивая из молекулы электрон. Эти вторичные электроны тоже летят к аноду и, встречая новые молекулы газа, иони-

зируют их в свою очередь. Таким образом, общий электронный ток, вызванный первичным воздействием света, получается больше, чем у вакуумного фотоэлемента. Это увеличивает чувствительность газонаполненного фотоэлемента по сравнению с вакуумным в несколько раз. Однако такое увеличение чувствительности покупается дорогой ценой. С увеличением рабочего напряжения газонаполненные фотоэлементы теряют самое ценное свое свойство для применения в фотометрии — строгую пропорциональность между силой фототока и интенсивностью света. Кроме того, они инерционны. Инерционность их обусловлена тем, что ток достигает своего максимального значения не сразу, а после целого ряда столкновений электронов с молекулами газа, на что требуется известный промежуток времени.



Фиг. 66. Зависимость фототока от светового потока для вакуумного фотоэлемента.





Фиг. 67. Спектральные характеристики фотоэлементов.

а—простые катоды, *б*—сложные катоды. Обозначения: Li — литий, Na — натрий; K — калий; Rb — рубидий; Cs — цезий; SbCs — сурмяно-цезиевый, CsO — кислородно-цезиевый. По горизонтальной оси отложены длины волн света в миллимикронах.

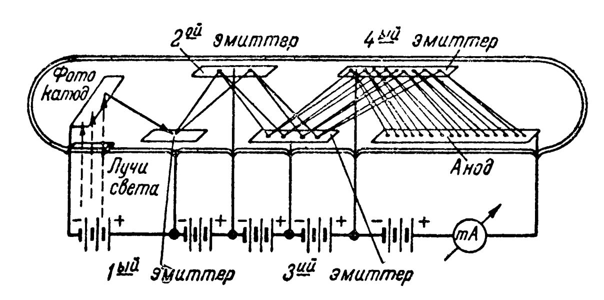
Весьма существенной для применения в астрономических исследованиях является спектральная характеристика фотоэлемента. В зависимости от материала катода и его обработки чувствительность фотоэлемента имеет ярко выраженный максимум в определенных участках спектра (для определенных длин волн). На фиг. 67,*а* приведены спектральные характеристики различных щелочных металлов. Спектральная характеристика фотоэлемента зависит от процесса обработки фотокатода и для сложных фотокатодов она значи-

тельно отличается от приведенных на фиг. 67,*а*. Так, например, кислородно-цезиевые фотоэлементы (фиг. 67,*б*) особо чувствительны к красным лучам (700—800 *ммкн*).

Фотоумножители

Стремление увеличить чувствительность фотоэлементов привело к разработке прибора, известного под названием *фотоумножителя.*

Советскому Союзу принадлежит приоритет в разработке фотоумножителей. В 1930 г. инж. Л. А. Кубецкий разработал и построил фотоумножитель, использующий явление вторично-электронной эмиссии. Сущность этого явления со-



Фиг. 68. Схема вторично-электронного фотоумножителя Л. А. Кубецкого (условно взято четыре каскада, коэффициент усиления каждого каскада — два).

стоит в том, что при бомбардировке поверхности некоторых тел быстролетящими электронами, из этой поверхности вырываются новые, так называемые *вторичные, электроны.* Материалы, обладающие наименьшей работой выхода, могут создать вторичную электронную эмиссию, в несколько раз превышающую первичную. Один электрон, ударившись о такую поверхность (например, цезиевую), может вырвать от 6 до 10 вторичных электронов [Л. 32].

Схематическое изображение вторично-электронной трубки Л. А. Кубецкого показано на фиг. 68. В такой трубке число вторичных катодов или, как их называют, эмиттеров доходит до 10—13. Работает такая трубка следующим образом.

Фотоэлектроны, вырванные светом из фотокатода, устремляются к первому эмиттеру под действием ускоряющего электрического поля, созданного некоторой положительной разностью потенциалов между фотокатодом и пер-

вым эмиттером. Ударившись о поверхность эмиттера, фотоэлектрон вырвет из этой поверхности несколько вторичных электронов, например четыре. Эти четыре вторичных электрона под действием электрического поля, обусловленного положительной разностью потенциалов между вторым и первым эмиттерами, устремятся с большой скоростью к второму эмиттеру и выбьют из его поверхности новые вторичные электроны. Если каждый прилетевший от первого эмиттера электрон выбьет четыре вторичных электрона, тогда от второго эмиттера к третьему полетят уже 16 электронов и т. д.

Если положить, что число эмиттеров равно десяти, то общее усиление фототока, даваемое трубкой, составит 4^{10}, т. е. свыше миллиона. Даже если не использовать полностью это усиление, то чувствительность фотоумножителя все же в десятки и сотни тысяч раз больше, чем обычного вакуумного фотоэлемента. В то же время фотоумножители сохраняют основные качества вакуумного фотоэлемента — пропорциональность тока освещенности. В астрономии для измерения весьма слабых световых потоков фотоумножители приобретают исключительное значение.

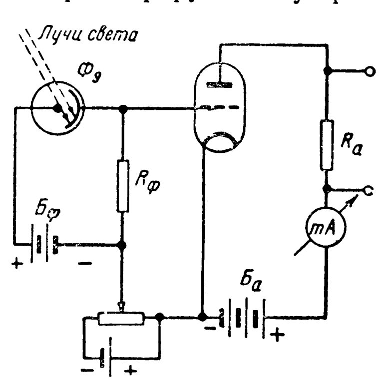
Работы Л. И. Кубецкого по вторично-электронным умножителям были удостоены в 1948 г. Сталинской премии.

Для сравнения в табл. 1 приведены средние характеристики чувствительности некоторых фотоэлементов.

Таблица 1

Тип фотоэлемента	Чувствительность, *мка/лм*	Рабочее напряжение, *в*	„Красная граница", *ммкн*	Длинноволновый селективный максимум, *ммкн*
Калиевый, обработанный водородом, вакуумный	1—5	60—80	500—600	400—500
Кислородно-цезиевый, вакуумный . . .	20—45	60—80	1 200—1 300	750—850
Сурьмяно-цезиевый, вакуумный	30—60	60—80	650—800	400—500
Фотоумножитель сурьмяно-цезиевый . .	До $10 \cdot 10^6$ и более	800—1 000	650—800	400—500
Селеновый, вентильный	200—500	0	800	500—600
Серно-серебряный, вентильный	3 000—7 000	0	1 350	800—900

Даже самый высокочувствительный вакуумный фотоэлемент, особенно при малой интенсивности светового потока, создает на выходе такой ничтожный ток и мощность, которые не могут привести в действие хотя бы очень чувствительное электромеханическое регистрирующее устройство. Обычно фотоэлементы с внешним фотоэффектом соединяются с ламповыми усилителями.



Фиг. 69. Принципиальная схема включения фотоэлемента в усилитель постоянного тока.

$Ф_э$ — фотоэлемент; $R_ф$ — нагрузочное сопротивление фотоэлемента; $Б_ф$ — батарея питания цепи фотоэлемента; R_a — нагрузочное сопротивление усилительной лампы.

Фотоэлементы дают фототок, постоянный по направлению. Величина этого тока при измерениях либо остается постоянной, либо медленно меняется в соответствии с изменением освещенности фотоэлемента, поэтому для усиления фототоков обычно приходится применять усилители постоянного тока.

Простейшая схема усилителя постоянного тока приведена на фиг. 69.

Коэффициент усиления тока в такой схеме пропорционален крутизне характеристики лампы S и сопротивлению $R_ф$. Чем больше крутизна характеристики и величина сопротивления $R_ф$, тем большее усиление тока может дать такая схема. Так, например, при крутизне $S = 1$ *ма/в* (10^{-3} *а/в*) и сопротивлении в 100 *мгом* (10^8 *ом*)

$$K = SR = 10^{-3} \cdot 10^8 = 10^5,$$

т. е. эта одноламповая схема обеспечивает усиление по току в 100 тыс. раз.

Однако такие простейшие схемы теперь употребляются редко. Высокие требования к точности измерений фототока налагают весьма жесткие требования к стабильности коэффициента усиления схемы, следовательно, и к стабильности крутизны характеристики, зависящей от режима лампы и стабильности величины сопротивления $R_ф$. Разработаны специальные электрометрические лампы, стабильные вакуумные высокоомные сопротивления, балансные схемы усиления, а также схемы, использующие отрицательную обрат-

ную связь для стабилизации усиления при колебаниях питающего напряжения. Все эти усовершенствования значительно расширили возможности использования фотоэлемента для точных измерений в астрономии.

Измерения слабых световых потоков

Прежде чем перейти к описанию хотя бы простейшей электрофотометрической установки, укажем величины световых потоков, с которыми приходится иметь дело при измерениях в астрономии.

Отношение блеска звезд в астрономии принято выражать в звездных величинах m. Интенсивность света звезды каждой последующей звездной величины примерно в 2,5 раза (точнее в 2,512) меньше предыдущей.

В основу шкалы звездных величин положены тщательные фотометрические измерения большого числа околополярных звезд, представляющих фотометрический эталон.

Звезды с большей интенсивностью, чем звезда нулевой величины, отмечаются знаком минус. Так, например, Сириус имеет видимую звездную величину — $1^m,6$, Луна в полнолуние $-12^m,6$, Солнце $-26^m,7$. Зависимость между интенсивностью I_1 и I_2 двух сравниваемых между собой звезд и их звездных величин m_1 и m_2 выражается формулой

$$\frac{I_1}{I_2} = 2{,}512^{(m_2 - m_1)}$$

или после логарифмирования

$$\lg \frac{I_1}{I_2} = 0{,}4\,(m_2 - m_1).$$

Например, при разности интенсивности света звезд на 5 звездных величин, т. е. при $m_2 - m_1 = 5$, отношение их блеска равно 100, так как

$$\lg \frac{I_1}{I_2} = 0{,}4 \cdot 5 = 2, \text{ откуда } \frac{I_1}{I_2} = 100.$$

Следует подчеркнуть, что звездные величины не имеют ничего общего с размером звезд.

Невооруженным глазом можно увидеть звезды до шестой величины. В бинокль удается рассмотреть звезды до восьмой величины. В самые большие телескопы при многочасовой экспозиции на фотографической пластинке удается зарегистрировать звезды 22-й величины.

П. П. Паренаго в своей книге «Строение Вселенной» [Л. 4] приводит такие примеры: международная свеча, с помощью которой производится, например, измерение силы света электрических ламп на расстоянии 1 *м*, имеет блеск, равный звезде —14-й величины. На расстоянии в 1 *км* она покажется нам уже звездой +1-й, а на расстоянии 10 *км* +6-й звездной величины, т. е. еле заметной для невооруженного глаза.

Несмотря на то, что звезды в действительности очень ярки и многие из них не только не уступают Солнцу, но даже ярче его, они кажутся нам весьма слабыми источниками света, так как находятся от нас на громадных расстояниях.

Отношение блеска какой-либо звезды к блеску Солнца в предположении, что эта звезда находится на таком же расстоянии от нас, как и Солнце, называется *светимостью* звезды L и показывает, во сколько раз звезда ярче или слабее Солнца. Для возможности сравнения введена *абсолютная звездная величина* M для условного стандартного расстояния в 10 *парсек*, которая уже не зависит от расстояния.

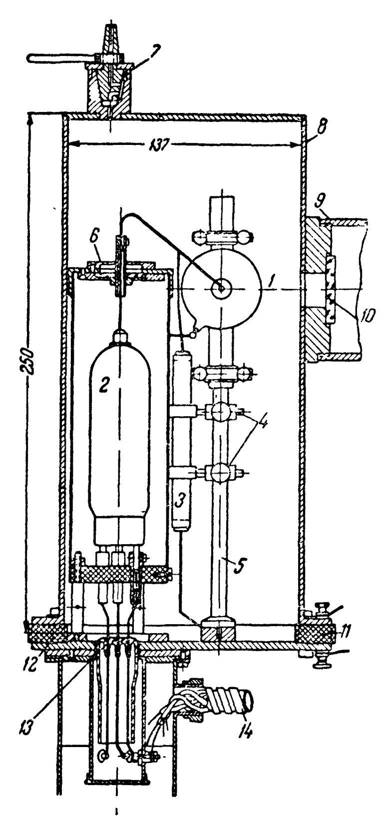
Величина светового потока F (в люменах), создаваемого звездой на катоде фотоэлемента, зависит от интенсивности света звезды (ее звездной величины), диаметра объектива телескопа и коэффициента потери света в оптике.

Примерное представление о величинах световых потоков для звезд разной величины при наблюдении с помощью сравнительно малого (с 12-дюймовым объективом) или большого телескопа (со 100-дюймовым объективом) можно получить из табл. 2.

Таблица 2

Звездная величина m	Световой поток F, *лм*	
	Слабый телескоп (12 дюймов)	Сильный телескоп (100 дюймов)
0	$1{,}9 \cdot 10^{-7}$	$1{,}35 \cdot 10^{-5}$
1	$7{,}6 \cdot 10^{-8}$	$5{,}4 \cdot 10^{-6}$
2	$3{,}0 \cdot 10^{-8}$	$2{,}1 \cdot 10^{-6}$
3	$1{,}2 \cdot 10^{-8}$	$8{,}5 \cdot 10^{-7}$
5	$1{,}9 \cdot 10^{-9}$	$1{,}35 \cdot 10^{-7}$
6	$7{,}6 \cdot 10^{-10}$	$5{,}4 \cdot 10^{-8}$
10	$1{,}9 \cdot 10^{-11}$	$1{,}35 \cdot 10^{-9}$
15	$1{,}9 \cdot 10^{-13}$	$1{,}35 \cdot 10^{-11}$
20	$1{,}9 \cdot 10^{-15}$	$1{,}35 \cdot 10^{-13}$
21	$7{,}6 \cdot 10^{-16}$	$5{,}4 \cdot 10^{-14}$

Оценить величины фототоков, которые создают такие слабые световые потоки, можно, если знать чувствительность фотоэлемента. Так, например, сурьмяно-цезиевый фотоэлемент чувствительностью в 100 *мка/лм* дает с 12-дюймовым телескопом от звезды шестой величины фототок, равный $8 \cdot 10^{-14}$ *а*. Для того чтобы зарегистрировать этот ток с помощью, скажем, обычного зеркального гальванометра (чувствительностью 10^{-8} *а*), ток следует усилить почти в миллион раз. Применяя фотоумножитель с сурьмяно-цезиевым фотокатодом с общим коэффициентом усиления в 10^6, можно обойтись без дополнительного лампового усилителя. Чтобы зарегистрировать электрофотометром звезду 21-й звездной величины, даже используя лучшие фотоумножители, потребовалось бы дополнительное усиление почти в миллион раз.



Фиг. 70. Звездный электрофотометр В. Б. Никонова и П. Г. Куликовского.

Первый советский звездный электрофотометр был разработан в 1936—1937 гг. астрономами В. Б. Никоновым и П. Г. Куликовским [Л. 34]. Устройство его с некоторыми сокращениями показано на фиг. 70. Корпус электрофотометра представляет собой толстостенный (3 *мм*) латунный цилиндр *8*, открытый снизу. Цилиндр имеет съемную крышку *12*, к которой его можно прикрепить через резиновое кольцо *11* с помощью шести болтов по окружности крышки. В верхнем закрытом донышке цилиндра *8* смонтирован воздушный кран *7*, подсоединяемый резиновым шлангом к масляному насосу, с помощью которого откачивается воздух из цилиндра. Внутри цилиндра на стойке *5* из

высококачественного изолятора (янтарь) крепится фотоэлемент *1* и на двух держателях *4* — высокоомное нагрузочное сопротивление *3* порядка $6 \cdot 10^{10}$ *ом*. На другой стойке укреплена ламповая панелька с электрометрической лампой *2*. Лампа прикрыта съемным металлическим экраном *6*, сквозь крышку которого проходит изолированный янтарем провод управляющей сетки лампы, соединенной с фотоэлементом.

Провода от лампы и других деталей электрофотометра для подсоединения к усилительной схеме и источникам питания проходят через стеклянный шлиф *13* в съемной крышке фотометра. Шлиф хорошо подогнан к конусному отверстию в крышке и посажен на специальной замазке, чтобы обеспечить надежный вакуум после откачки. Выходные провода через патрубок выводятся наружу в отверстие в боковой стенке внешнего патрубка с помощью гибкого экранированного кабеля *14*. Фотометр крепится к астрономическому инструменту патрубком *9*. Свет от исследуемой звезды проходит на фотоэлемент через отверстие, закрытое пластинкой из увиолевого стекла *10*.

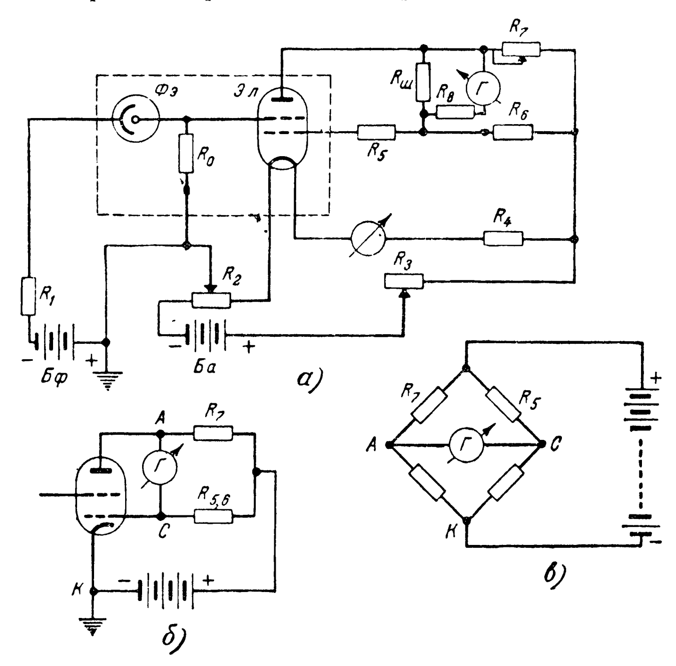
Принципиальная электрическая схема электрофотометра Никонова и Куликовского показана на фиг. 71.

На этой схеме калиевый газонаполненный фотоэлемент *Фэ* питается от батареи *Бф* через защитное сопротивление $R_1 = 5\,000$ *ом*. Нагрузочное сопротивление фотоэлемента $R_0 = 5{,}9 \cdot 10^{10}$ *ом* представляет собой тонкий слой платины, нанесенный на стеклянную палочку, которая помещена в кварцевую трубку.

Усилитель постоянного тока по компенсационной схеме собран на специальной электрометрической лампе *Эл*. В таких электрометрических лампах приняты меры, чтобы максимально снизить сеточный ток лампы. Сетка крепится на кварцевых держателях с отдельным выводом через баллон лампы. Лампа откачивается до очень высокого вакуума. Особая конструкция электродов исключает возможность появления первичной и вторичной эмиссии электронов с сетки и ионизации остатков газа. Лампа работает при малом анодном напряжении (около 10 *в*). Питание схемы осуществляется от батареи *Ба* напряжением около 20 *в*. На управляющую сетку подается смещение —4 *в*. Сопротивление R_2 и R_4 по 50 *ом*, $R_3 = 100$ *ом*, $R_5 = 6\,000$ *ом*, $R_6 = 2\,000$ *ом*, переменное сопротивление в аноде R_7 около 10 000 *ом* и $R_ш$, шунтирующее гальванометр *Г*, около 100 *ком*.

Компенсационная схема позволяет значительно ослабить влияние нестабильности источника питания. Гальванометр

включен в схему моста, образованного сопротивлением цепи анода R_7 и сопротивлениями цепи сетки пространственного заряда R_5 и R_6 (фиг. 71,*б* и *в*) с одной стороны и внутренним сопротивлением лампы (анод — катод и сетка пространственного заряда — катод) с другой стороны. Соответствующим выбором сопротивлений и режима питания можно



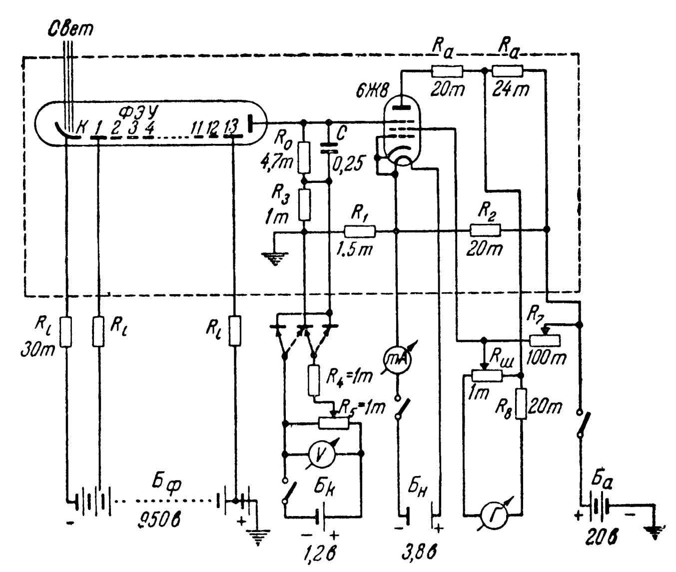
Фиг. 71. Принципиальная электрическая схема звездного электрофотометра В. Б. Никонова и П. Г. Куликовского с электрометрической лампой.

а — общая схема; *б* — упрощенная схема компенсационного моста, *в* — эквивалентная схема моста.

сильно ослабить влияния изменений напряжения батареи на показания гальванометра.

Оптическая схема установки позволяет производить сравнение исследуемой звезды с эталоном, в качестве которого использована металлическая пластинка, покрытая радиоактивным светосоставом (активированный солями радия сернистый цинк). Вспомогательная оптика позволяет проектировать изображение эталона на фотоэлемент. С этим электрофотометром удавались наблюдения звезд до восьмой звездной величины.

Применение фотоумножителя позволяет значительно увеличить чувствительность звездного электрофотометра. В 1949 г. В. Б. Никонов построил для Крымской астрофизической обсерватории электрофотометр с фотоумножителем [Л. 36] для наблюдения переменных звезд на 200-*мм* менисковом телескопе системы лауреата Сталинской премии Д. Д. Максутова. В фотометре применен фотоумножитель,



Фиг. 72. Принципиальная схема электрофотометра В. Б. Никонова с фотоумножителем.

позволивший получить от звезды шестой величины фототок $4 \cdot 10^{-8}$ *a*.

Схема электрофотометра с фотоумножителем приведена на фиг. 72 и принципиально не отличается от схемы фиг. 71,*a*, за исключением того, что питание усилителя постоянного тока осуществлено от отдельных батарей для накала и анода. В качестве электрометрической лампы использована лампа 6Ж8. Режим лампы характеризуется следующими данными: напряжение защитной сетки 0, напряжение на сетке пространственного заряда +12 *в*, напряжение на аноде +8 *в*, смещение на управляющей сетке —2,2 *в*, напряжение накала 3,8 *в*.

В усилителе применена отрицательная обратная связь через сопротивление R_1, что позволило значительно повысить

линейность амплитудной характеристики усилителя и его стабильность. Фотоумножитель питается от секционированной батареи общим напряжением 950 *в*. Напряжение между каскадами фотоумножителя выбрано равным 68 *в*. Это напряжение оказалось оптимальным в отношении полезного усиления фотоумножителя. При увеличении напряжения между каскадами чувствительность фотоумножителя растет, но при этом одновременно ухудшается отношение полезного сигнала к шуму.

Для лабораторной практики, пользуясь фотоумножителем и усилителем, собранным по балансной схеме, могут быть созданы еще более чувствительные электрофотометры [Л. 38].

Фотоэлектрическая регистрация звездных прохождений

Мы упоминали уже в гл. 1 о значении астрономических наблюдений в работе Службы времени. Одним из способов повышения точности астрономических регистраций прохождения звезды через меридиан является применение фотоэлектрического метода регистрации, свободного от субъективных или, как говорят астрономы, личных ошибок, свойственных визуальному методу.

При попытке применить фотоэлемент для автоматической регистрации прохождения звезды с помощью пассажного инструмента, употребляемого в Службе времени, приходится считаться с малыми размерами объектива этого астрономического прибора (80—100 *мм*). Для телескопа с диаметром объектива в 80 *мм* световой поток от звезды нулевой величины равен примерно 10^{-8} *лм*, а от звезды пятой величины 10^{-10} *лм*, т. е. примерно такой, какой получился бы от звезды 12-й величины при применении 100-дюймового телескопа. Кроме того, регистрирующим прибором обычно является хронограф или ондулятор и, следовательно, усилитель должен обеспечить на выходе достаточную мощность для приведения в действие того или иного электромеханического устройства.

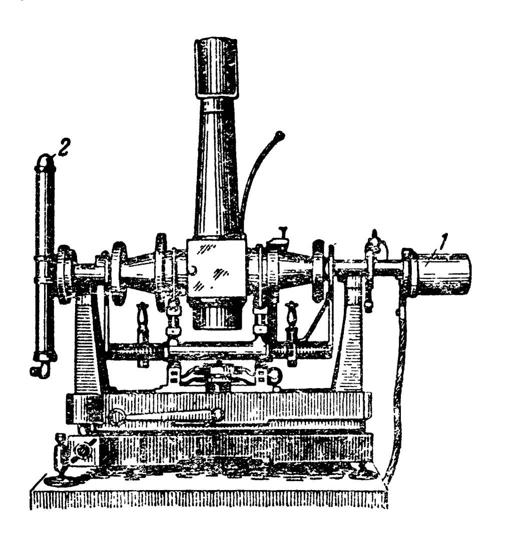
Такая установка была разработана и осуществлена в Пулковской обсерватории проф. Н. Н. Павловым [Л. 35]. Работы, начатые им в 1933 г., позволили еще до войны ввести фотоэлектрический пассажный инструмент в практику Службы времени Пулковской обсерватории для определения поправок часов. Как показали испытания, установка обеспечивала регистрацию звезд до восьмой величины.

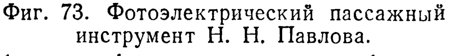
Внешний вид фотоэлектрического пассажного инструмента, построенного Н. Н. Павловым, показан на фиг. 73.

Справа к окулярной части инструмента прикреплена камера фотокаскада. Чтобы дать возможность визуального контроля правильности наведения на звезду, к пассажному инструменту слева добавлен искатель (ср. с фиг. 3).

Устройство фотокаскада приведено на фиг. 74.

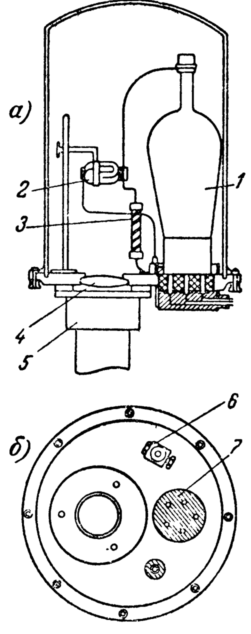
Камера представляет собой цилиндрический латунный стакан с вакуумноуплотненным съемным дном. В донышке имеется окно, сквозь которое световые лучи проходят к фотоэлементу. На внутренней стороне дна смонтированы фотоэлемент, высокоомное сопротивление и электрометрическая лампа. Откачка камеры производится насосом через специальный патрубок с воздушным краном. Провода питания фотокаскада выведены через контактную колодку и соединяются с остальной схемой гибкими, хорошо экранированными кабелями.





Фиг. 73. Фотоэлектрический пассажный инструмент Н. Н. Павлова.

1 — камера фотокаскада, содержащая фотоэлемент, высокоомное сопротивление и электрометрическую лампу; 2 — искатель для контроля правильности наведения на звезду.

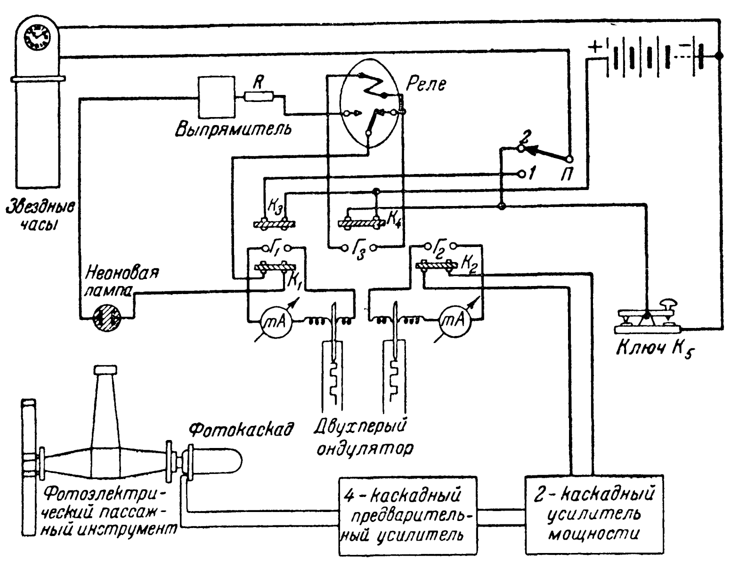


Фиг. 74. Камера фотокаскада.

а — разрез; *б* — вид на донышко снизу.

1 — электрометрическая лампа; 2 — фотоэлемент; 3 — высокоомное сопротивление; 4 — линза; 5 — патрубок пассажного инструмента; 6 — воздушный кран; 7 — контактная колодка.

В фокусе пассажного инструмента установлена специальная визирная решетка с 40 узкими щелями, изготовленными с большой точностью. При прохождении звезды свет, пересекая эти щели, создает в фотоэлементе серию импульсов фототока. Усиленные электрометрической лампой импульсы поступают в четырехкаскадный промежуточный усилитель, а после него в двухкаскадный усилитель мощности, выход которого непосредственно питает катушку одного из перьев ондулятора. Упрощенная общая принципиальная схема фотоэлектрической установки показана на фиг. 75.



Фиг. 75. Упрощенная принципиальная схема фотоэлектрической установки для регистрации звездных прохождений по Н. Н. Павлову.

При соединении колодки K_3 с гнездами $Г_1$ и колодки K_2 с гнездами $Г_2$ (переключатель $П$ в положении *1*) левое перо ондулятора записывает секундные сигналы астрономических часов, а правое перо — моменты прохождения звезды через щели решетки.

Чтобы определить величину запаздывания усилительной схемы, которую надо учесть при окончательных расчетах полученной поправки часов, надо соединить контакты K_1 с гнездами $Г_1$, контакты K_4 с гнездами $Г_3$ и контакты K_2 с гнездами $Г_2$, а переключатель $П$ поставить в положение *2*. Световой поток от звезды заменяется при этом вспышкой

неоновой лампы, помещенной перед объективом пассажного инструмента. Левое перо ондулятора запишет сигналы часов (через реле) одновременно со вспышкой неоновой лампы, а правое перо — те же секундные сигналы, но воспринятые в виде вспышек лампы и превращенные в импульсы тока фотоэлектрической установкой. Разность моментов обеих записей и даст величину запаздывания установки.

Использование обычного фотоэлемента в такой установке потребовало довольно громоздкой схемы усиления (семи каскадов). Применение фотоумножителя и метода усиления по переменному току (модулируя непосредственно световой поток, идущий от звезды), можно значительно повысить устойчивость работы схемы и упростить все устройство. Такая фотоэлектрическая установка построена сотрудником Службы времени Центрального научно-исследовательского института геодезии, аэросъемки и картографии в Москве В. Э. Брандтом [1].

Автоматическое гидирование телескопа

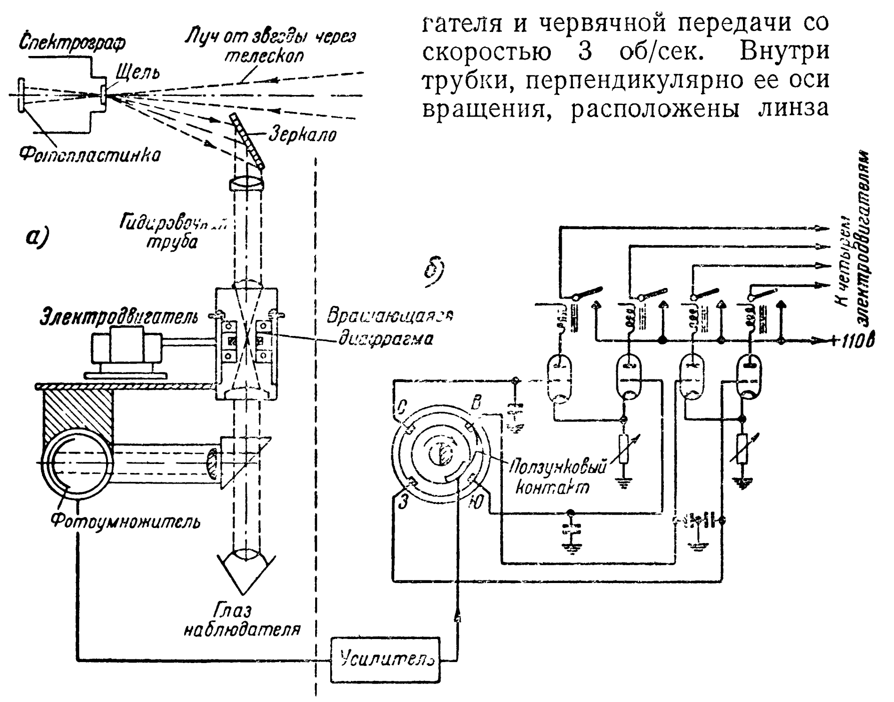
Фотографирование слабых звезд и туманностей, даже при применении фотопластинок большой чувствительности, требует большой выдержки (от десятка минут до многих часов). Чтобы изображение звезд на фотографии было четким, не смазанным, надо, чтобы оно все время приходилось на одно и то же место фотопластинки. Так как Земля непрерывно движется вокруг своей оси, то телескоп приходится тоже непрерывно перемещать в противоположную сторону, удерживая звезду в заданной точке поля зрения. Такое перемещение трубы телескопа осуществляется с помощью часового механизма или моторного привода, управляемого часовым механизмом.

Контроль за работой ведущего механизма, осуществлявшийся ранее самим астрономом-наблюдателем, можно автоматизировать, используя фотоэлемент. Для этого световой поток от звезды делится на две части. Одна часть (основная) направляется на фотопластинку, а вторая — в контролирующую гидировочную трубу. Внутри гидировочной трубы расположено специальное развертывающее устройство, состоящее из трубки диаметром 5 *мм*, которая может вращаться вокруг оси гидировочной трубы. Вращение трубки производится с помощью небольшого электродви-

---

[1] М. С. Зверев, Каталог слабых звезд как астрономическая проблема изд. АН СССР 1952, стр. 28—29.

гателя и червячной передачи со скоростью 3 об/сек. Внутри трубки, перпендикулярно ее оси вращения, расположены линза



Фиг. 76. Схема автоматического устройства для гидирования телескопа. *а* — оптическая часть схемы; *б* — электрическая часть схемы.

и диафрагма, закрывающая половину поля зрения трубки (фиг. 76,*а*).

Если центр изображения звезды приходится на оси гидировочной трубы, то вращающаяся диафрагма будет пропускать вниз на призму половину светового потока и этот поток будет оставаться постоянным. Если же центр звезды сместится, например, влево, то величина светового потока будет все время меняться с частотой вращения диафрагмы, т. е. трех колебаний в секунду, причем максимум света пройдет тогда, когда затемненная часть диафрагмы будет находиться в правом положении (как показано на фиг. 76,*б*). Вместе с внутренней трубкой вращается прикрепленный к ней ползунковый контакт, который в подходящий момент замыкает контакт *Ю*. Чем больше сместится от своего центрального положения звезда, тем с большей амплитудой будет происходить изменение светового потока и, следовательно, тем больший фототок даст фотоэлемент. Выход фотоэлемента

подан на резонансный усилитель, настроенный на частоту 3 *гц*.

За время замыкания трущейся щеткой контактов *С*, *Ю*, *В* или *З* происходит заряд конденсаторов, включенных в цепи управляющих сеток четырех ламп. Тот конденсатор, который скорее всех зарядится, отопрет свою лампу. Тогда сработает реле в анодной цепи этой лампы и включится электродвигатель тонкой коррекции положения телескопа, возвращая изображение звезды снова к центральному положению на оси гидировочной трубы, а следовательно, и на надлежащее место на фотопластинке.

Для первоначальной визуальной установки звезды нижняя призма убирается и наблюдатель устанавливает изображение звезды в центре поля зрения.

Заключение

Мы рассмотрели ряд примеров применения методов радиотехники и электроники в астрономии. Конечно, это далеко не исчерпывает все случаи применения. Можно было бы отметить применение электронных реле в аппаратной Службы времени или фотоэлектрический спектрофотометр — прибор, нашедший важное применение при исследовании спектров звезд, а также фотоэлектрический денситометр (микрофотометр) — прибор для измерения плотности почернения фотографических пластинок, фотоэлектрический колориметр и т. п. Но и приведенных примеров достаточно, чтобы показать высокую эффективность содружества ученых различных, на первый взгляд даже далеких друг от друга, отраслей знания.

Широкое проникновение методов радиотехники и электроники в астрономию обогатило астрономические методы исследования и позволило расширить и углубить наши знания о строении мира. С другой стороны, астрономия деятельно помогает радиотехникам обеспечивать бесперебойную радиосвязь, участвуя в разработке прогнозов «радиопогоды».

Для радиолюбителей, которые хотели бы углубить свои знания в области астрономии, и для любителей астрономии, которые пожелали бы получить более полные сведения о радиотехнических деталях описанных устройств, в конце книги приводится перечень рекомендуемой и цитированной литературы.

В заключение автор считает своим долгом выразить благодарность директору Пулковской обсерватории, члену корреспонденту Академии наук СССР А. А. Михайлову и канд. физ.-матем. наук П. Г. Куликовскому за многие ценные советы и замечания, которыми автор воспользовался при написании этой книги.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

СПИСОК ОСНОВНЫХ МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ

Название потока	Дата максимума и пределы наблюдения	Число метеоров в 1 час во время максимума	Геоцентрическая скорость, *км/сек*	В каком созвездии находится радиант
Квадрантиды . .	3 января (1—7)	40	46	Дракона-Геркулеса
Лириды	21 апреля (20—22)	12	51	Лиры
Эта Аквариды . .	4 мая (1—12)	8	66	Водолея
Бета Кассиопеиды	27 июля	—	—	Кассиопеи
Дельта Аквариды	28 июля (22—31)	—	50	Водолея
Персеиды	12 августа (4—16)	55	61	Персея
Ориониды	22 октября (15—25)	8	68	Ориона
Дракониды . . .	9 октября (8—12)			Дракона
Леониды	16 ноября (15—27)	8	72	Льва
Геминиды	12 декабря (9—13)	60	36	Близнецов
Урсиды	22 декабря (21—23)	10—20	—	М. Медведицы

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ТАБЛИЦА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Планеты	Число спутников	Среднее расстояние от Солнца		Время обращения вокруг Солнца в годах	Средняя скорость движения по орбите, *км/сек*	Угол, под которым с Земли видны диаметры планет		Диаметр планет		Объем планеты в объемах Земли	Масса планеты в массах Земли	Средняя плотность по сравнению с плотностью воды	Сила тяжести на экваторе по сравнению с силой тяжести на Земле	Время вращения вокруг оси	Количество тепла, получаемого единицей поверхности планеты по сравнению с Землей	Указание на существование атмосферы
		в млн. *км*	в астрономических единицах			наименьший	наибольший	в тыс. *км*	в диаметрах Земли							
Меркурий . .	—	58	0,39	0,24	49	5″	13″	5,1	0,40	0,07	0,04	3,8	0,3	88 дней	660	Нет
Венера	—	108	0,73	0,62	35	10	65	12,6	0,99	0,97	0,82	4,7	0,8	30 дней	190	Есть
Земля	1	149,5	1,00	1,00	30	—	—	12,7	1,00	1,00	1,00	5,5	1,0	23 ч. 56 м.	100	Есть
Марс	2	228	1,52	1,88	24	3,5	25	6,8	0,53	0,16	0,11	3,8	0,4	24 ч. 37 м.	43	Есть
Юпитер	12	778	5,20	11,9	13	30	50	140	11,0	1 345	318	1,3	2,3	9 ч. 50 м.	3,7	Есть
Сатурн	9	1 426	9,54	29,5	9,6	15	21	115	9,0	760	95	0,7	0,9	10 ч. 14 м.	1,1	Есть
Уран	5	2 869	19,2	84,0	6,8	3,5	4,3	52	4,1	70	15	1,3	0,8	10,8 часа	0,3	Есть
Нептун	2	4 496	30,1	164,8	5,4	2,2	2,4	50	3,9	58	17	1,6	1,1	15,8 часа	0,1	Есть
Плутон	—	5 908	39,5	248,4	4,7	—	—	6 (?)	0,5 (?)	—	0,5 (?)	—	—	—	0,06	—
Солнце	9	—	—	—	—	31′,5	32′,5	1 391	109	1,3 млн.	332 тыс.	1,4	28	25,4 дня	—	—
Луна	—	—	—	—	1,0	29′,6	33′,7	3,5	0,27	0,02	0,012	3,3	0,16	27,3 дня	—	Есть

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. А. Воронцов-Вельяминов, Астрономия, учебник для средней школы, Учпедгиз, 1950.

2. И Ф. Полак, Общедоступная астрономия, Гостехтеоретиздат, 1951 (6-е издание).

3. Б А. Воронцов-Вельяминов, Вселенная, Гостехтеоретиздат, 1947.

4. П. П. Пареного, Строение Вселенной, Госкультпросветиздат, 1949.

5. М. Ивановский, Рождение миров, изд. «Молодая гвардия», 1951.

6. П. Г. Куликовский, Справочник астронома-любителя, Гостехтеоретиздат, 1949.

7. П. В. Войнилович и И. Ф. Шевляков, Земля и Солнце, Госкультпросветиздат, 1952.

8. Ф. Ю. Зигель, Русские астрономы и их работы, Госкультпросветиздат, 1949.

9. Я И Перельман, Занимательная астрономия, ОНТИ, 1935.

10. О Ю Шмидт, Новое в науке о происхождении Земли, «Большевик», 1952, № 5, стр. 23.

11. И. Ф. Полак, Время и календарь, Гостехиздат, 1947.

12. Н. Н. Павлов, Служба времени, «Советская наука», 1941, № 1.

13. М. С. Зверев, Служба времени ГАИШ за 1941—1942 гг., Труды Гос. астр. ин-та им. П. К. Штернберга, 1949, т. XVIII, вып. 1 и 2.

14 П. С. Попов, Новый метод приема ритмических сигналов в Службе времени ЦНИИГАиК, «Геодезист», 1940, № 11.

15. А. А Водар, Хроноскоп, Сообщения Гос. астр. ин-та им П. К. Штернберга, 1949, № 31.

16. В. А. Баринов, Время и его измерение, Изд. «Правда», 1948.

17. С. В. Орлов, Природа комет, Гостехиздат, 1944.

18. Б. Ю. Левин, Поток Драконид в 1946 г., Астрономический календарь Горьковского обл. изд-ва, 1947, стр. 121—127.

19. Б. Ю. Левин, Элементы физической природы метеоров, «Астрономический журнал», 1940, № 17

20. Ф. Ю. Зигель, Небесные камни, Детгиз, 1951.

21. В. И. Шамшур, Радиолокация, Массовая радиобиблиотека, Госэнергоиздат, 1949.

22. К. А. Траскин, Радиолокационная техника и ее применение, Массовая радиобиблиотека, Госэнергоиздат, 1951.

23. В. В. Федынский и И. С. Астапович, Малые тела Вселенной, Гостехтеоретиздат, 1948.

24. Я. И. Перельман, Межпланетные путешествия, Гостехтеоретиздат, 1934.

25. Н. Д. Папалекси, Об измерении расстояния от Земли до Луны с помощью электромагнитных волн, Успехи физ. наук, т. 29, № 3—4, 1946, стр. 250.

26. М. С. Эйгенсон, Деятельность Солнца, «Природа», 1950, № 3.

27. М. С. Эйгенсон, М Н. Гневышев, А. И. Оль и Б. М. Рубашев, Солнечная активность и ее земные проявления, Гостехиздат, 1948.

28. Р. В. Куницкий, Развитие взглядов на строение солнечной системы, Гостехиздат, 1951.

29. И. С. Шкловский, Проблемы космического радиоизлучения, Астрономический журнал, т. 30, № 1, 1953.

30. А. Н. Щукин, Физические основы распространения радиоволн в ионосфере, Связьиздат, 1940.

31. В. А. Мезенцев, Электрический глаз, Гостехтеоретиздат, 1950.

32. С. Ю. Лукьянов, Фотоэлементы, Изд. АН СССР, 1948.

33. Н. О. Чечик, Фотоумножители, «Заводская лаборатория», 1947, № 12.

34. В. Б. Никонов и П Г. Куликовский, Первый советский звездный электрофотометр, Астрономический журнал, 1939, т. XVI, № 4.

35. Н. Н. Павлов, Фотоэлектрическая регистрация звездных прохождений, Труды главной астрофизической обсерватории, 1946, т. LIX, серия II.

36. В. Б. Никонов и Е. К. Никонова, Звездный электрофотометр Крымской астрофизической обсерватории и методы учета ослабления света в земной атмосфере при фотоэлектрических наблюдениях переменных звезд, АН СССР, Известия Крымской астрофизической обсерватории, т. IX, 1952.

37. П. Г. Куликовский, О применении фотоэлектрического эффекта в астрономии, Труды ГАИШ им. П. К. Штернберга, 1941, т. XVII, вып. II.

38. П. Герлих, Применение фотоэлементов, Изд. Иностранной литературы, 1952.

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 2 р. 40 к.